SÉRIE
DE LA GESTION
DE L'ÉNERGIE

1

À L'INTENTION
DES INDUSTRIES,
COMMERCES
ET INSTITUTIONS

Isolation thermique des équipements

Énergie, Mines et Ressources Canada
Energy, Mines and Resources Canada
Canada

PRÉFACE

L'art et la science de la gestion de l'énergie ont accompli des progrès remarquables au cours de la dernière décennie. La gestion de l'énergie est devenue une discipline sérieuse dans le cadre du processus de gestion de la plupart des entreprises qui connaissent le succès.

D'abord, au début des années 70, on a mis sur pied des programmes d'économie d'énergie afin de réduire la menace de pénurie d'énergie que pesait sur le Canada, de même que la dépendance du pays à l'endroit du pétrole étranger. Toutefois, la hausse vertigineuse des prix n'a pas tardé à donner une signification nouvelle à l'expression «économie d'énergie»: réduire le coût de l'énergie.

Nombre d'industries, de commerces et d'organismes publics ont relevé le défi et abaissé les coûts d'énergie jusque dans une proportion de 50%. On est ainsi arrivé à utiliser l'énergie de façon rationnelle, grâce à des mesures telles que des programmes d'information à l'intention du personnel, des moyens d'entretien plus à point, la simple élimination du gaspillage, et en mettant de l'avant des projets aptes à moderniser ou améliorer les installations et l'équipement.

Pour en arriver maintenant à économiser d'avantage l'énergie, il importe de mieux connaître la technologie et ses applications en plus d'avoir recours à des appareils à haut rendement énergétique.

À la demande du Programme d'économie d'énergie dans l'industrie canadienne, du Programme des groupes de travail sur la gestion de l'énergie dans les secteurs commercial et institutionnel, et d'associations professionnelles et commerciales intéressées, la Division de l'énergie industrielle du ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources a élaboré une série de modules techniques portant sur la gestion de l'énergie.

Ces manuels aideront les gestionnaires et le personnel d'exploitation à découvrir les possibilités de gestion de l'énergie dans leur cadre de travail. On y trouve une quantité de renseignements pratiques, notamment des équations mathématiques, des renseignements généraux sur des techniques éprouvées, ainsi que des exemples concrets d'économie d'énergie.

Pour obtenir de plus amples renseignements concernant les modules figurant dans la liste qui suit ou la documentation utilisée dans le cadre des ateliers, y compris les études de cas, veuillez écrire à l'adresse suivante:

La Division de la gestion de l'énergie dans les
entreprises et dans le secteur gouvernemental
Direction des économies d'énergie
Énergie, Mines et Ressources Canada
580, rue Booth
Ottawa (Ontario)
K1A 0E4

Gestion de l'énergie et participation des employés
Évaluation de la consommation
Analyse financière énergétique
Comptabilité de la gestion énergétique
Récupération de la chaleur perdue
1 Isolation thermique des équipements
2 Éclairage
3 Électricité
4 Moteurs électriques économiseurs d'énergie
5 Combustion
6 Appareillage de chaufferie
7 Fours, sécheurs et fours de cuisson
8 Réseaux de vapeur et de condensat
9 Chauffage et refroidissement (vapeur et eau)
10 Chauffage, ventilation et conditionnement d'air
11 Refroidissement et pompes à chaleur
12 Réseaux de distribution d'eau et d'air comprimé
13 Ventilateurs et pompes
14 Compresseurs et turbines
15 Mesures et contrôle
16 Régulation automatique
17 Manutention des matériaux et transport sur place
18 Point de vue architectural
19 Accumulation thermique
20 Guide de planification et de gestion

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1988

En vente au Canada par l'entremise des

Librairies associées
et autres libraires

ou par la poste auprès du

Centre d'édition du gouvernement du Canada
Approvisionnements et Services Canada
Ottawa (Canada) K1A 0S9

N° de catalogue M91-6/1F au Canada: $5.00
ISBN 0-662-93323-0 à l'étranger: $6.00

Prix sujet à changement sans préavis

Tous droits réservés. On ne peut reproduire aucune partie du présent ouvrage, sous quelque forme ou par quelque procédé que ce soit (électronique, mécanique, photographique) ni en faire un enregistrement sur support magnétique ou autre pour fins de dépistage ou après diffusion, sans autorisation écrite préalable des Services d'édition, Centre d'édition du gouvernement du Canada, Ottawa, Canada K1A 0S9.

TABLE DE MATIÈRES

	Page
INTRODUCTION	1
Objectif	1
Contenu	1
NOTIONS DE BASE	3
Termes et définitions	3
Propriétés importantes à considérer pour le choix des isolants	4
Propriétés de transfert de chaleur	4
Rayonnement	5
Convection	5
Conduction	5
Flux thermique	5
Revêtements et enduits de protection	8
Coupe-vapeur	8
Prévention	9
Gammes de températures d'isolation	9
Calorifugeage pour basses températures	9
Calorifugeage pour températures intermédiaires	9
Calorifugeage pour hautes températures	10
Méthode de sélection	10
Épaisseur d'isolant recommandée	10
Épaisseur recommandée pour budget restreint	10
Épaisseur d'isolant rentable	11
Analyse énergétique	14
Analyse au passage	14
Analyse de diagnostic	14
Possibilités de gestion de l'énergie	14
MATÉRIAUX ET SYSTÈMES	15
Types et formes d'isolants	15
Principaux matériaux isolants	15

Systèmes d'isolation 16

Revêtements et enduits de protection 16
Écrans 16
Coupe-vapeur 17
Revêtements de protection mécanique 17
Revêtements retardateurs de flamme et résistants à la corrosion 17
Revêtements et enduits esthétiques 17
Revêtements hygiéniques 17

Propriétés des revêtements de protection 17
Compatibilité 17
Résistance aux mouvements internes et externes 17
Gamme de températures 18
Perméabilité à la vapeur 18

Accessoires 18
Fixations 18
Armature d'isolant pour la pose de ciments ou de mastics 18
Rejetteaux 18
Renforts 18
Supports 19
Produits d'obturation et de calfeutrage 19
Accessoires de compensation pour la dilatation et la contraction 19

Utilisations courantes 19
Constructions multicouches 19
Isolation des tuyauteries installées à l'intérieur 19
Chemisage métallique 20
Revêtements d'élastomères flexibles pour tuyaux 20
Isolants de raccords 20
Chapes isolantes de raccords en fibre de verre ou en CPV 20
Isolants de brides et de raccords en conduite 22
Isolants démontables et réutilisables 22
Isolants de conduites 22
Doublures isolantes installées sur place 23
Isolants des réservoirs et des vaisseaux 23
Isolants des dessus de vaisseaux et de réservoirs 25

POSSIBILITÉS DE GESTION DE L'ÉNERGIE 27

Possibilités de maintenance 27

Exemples concrets de maintenance 27
1. Réparation des isolants endommagés 27
2. Réparation des revêtements et des enduits de protection endommagés 28
3. Maintien des conditions sécuritaires 28

Possibilités d'amélioration à coût modique 28

Exemples concrets d'améliorations à coût modique 29
1. Isolation des tuyaux non isolés 29
2. Calorifugeage des vaisseaux non isolés 29
3. Ajout d'isolant pour atteindre l'épaisseur recommandée 30

Possibilités de rénovation 30

Exemples concrets de possibilités de rénovation 31
1. Amélioration de l'isolation existante 31
2. Examen de l'épaisseur économique 31
3. Amélioration tenant compte d'un budget restreint 31

ANNEXES

A Glossaire
B Tables
C Conversions Courrantes
D Feuilles de travail
E Épaisseur économique
F Normes relatives aux caractéristiques des matériaux de calorifugeage

INTRODUCTION

Le calorifugeage consiste en l'utilisation de matériaux ou de combinaisons de matériaux propres à ralentir la transmission d'énergie calorifique d'un milieu plus chaud à un milieu plus froid. Le calorifugeage offre les avantages qui suivent.

- Amélioration du rendement énergétique par la réduction des pertes ou des gains de chaleur dans les réseaux de tuyauterie, le matériel de traitement, les réseaux de conduites et les structures des bâtiments.
- Contrôle des températures des surfaces et de l'air ambiant pour assurer la protection et le bien-être du personnel.
- Meilleur contrôle des températures au sein d'un procédé.
- Absence de vapeur et de condensation sur les surfaces froides.
- Accroissement du rendement des appareils de chauffage, de ventilation et de refroidissement, ainsi que des systèmes de plomberie, des réseaux de vapeur, des procédés et des installations pour la production de force motrice que l'on retrouve dans les installations industrielles et commerciales, et dans les immeubles à caractère public.
- Réduction du matériel de chauffage, de refroidissement et de ventilation, d'où diminution du coût en capital et des frais d'exploitation.

Grâce au choix judicieux et à la bonne installation de matériaux isolants d'une épaisseur appropriée, on peut économiser de l'énergie et des dollars.

Objectif

Le présent module vise à faire ressortir les avantages du calorifugeage en tant qu'outil de gestion énergétique efficace dans les secteurs industriel, commercial et institutionnel.

Ce module porte sur l'isolation des réseaux mécaniques comprenant la tuyauterie, les vaisseaux, les appareils et les conduites reliés aux procédés. Quant aux avantages de l'isolation extérieure des bâtiments, il en est question dans le Module 18 intitulé «Point de vue architectural».

Le but premier du présent module est de sensibiliser les gestionnaires et le personnel technique aux avantages du calorifugeage, tant dans le cas d'installations existantes que de nouvelles constructions. Il peut également servir de guide pratique pour les différents utilisateurs d'énergie du pays.

De plus, ce module doit permettre au lecteur de faire l'analyse de ses installations et d'élaborer des programmes d'isolation adaptés à ses besoins. Il renferme tous les renseignements nécessaires à une évaluation rationnelle des besoins en matière d'isolation. Grâce à ce module, le lecteur sera en mesure de mieux choisir, au moment opportun, les entrepreneurs, fabricants et experts-conseils requis pour le projet d'isolation.

Contenu

Ce module comporte les sections suivantes.

- *Notions de base*. Cette section décrit les effets des matériaux isolants.
- *Matériaux et systèmes*. Cette section décrit les types d'isolants, revêtements et enduits protecteurs, de même que les usages courants de chacun.
- *Possibilités de gestion de l'énergie*. Cette section illustre, au moyen d'exemples, diverses applications de gestion de l'énergie, et des façons simples de calculer les économies d'énergie et d'argent et les périodes de rentabilité.
- Les annexes présentent un glossaire, des tables, des facteurs de conversions et des feuilles de travail.

Dans ce texte, les unités sont exprimées conformément au Système international d'unités, et les chiffres correspondants dans le système impérial sont présentés entre parenthèses afin de faciliter la compréhension. Cependant, conformément à la politique canadienne en matière de conversion au système métrique, tous les exemples pratiques sont donnés uniquement en unités du Système international.

NOTIONS DE BASE

On peut définir l'isolant comme un matériau ou une combinaison de matériaux propre à retarder le flux d'énergie calorifique. Bien qu'il n'emprunte pas à une technologie très complexe, le calorifugeage n'en demeure pas moins l'un des moyens les plus efficaces en matière de gestion de l'énergie. Les montants consacrés au calorifugeage procurent généralement un meilleur rendement énergétique, une hausse de la rentabilité et une gestion plus efficace de l'énergie.

Les avantages économiques de l'isolation découlent d'une diminution de la transmission de chaleur, ce qui se traduit par une réduction des pertes d'énergie calorifique et des coûts inhérents. Les économies que l'on peut réaliser par la pose d'isolant sont encore plus importantes dans les milieux où il faut transférer, traiter et stocker des fluides chauffés et refroidis.

Termes et définitions

Certains termes importants à la bonne compréhension de ce module figurent ci-dessous. Un glossaire plus exhaustif est présenté en annexe.

- Le *rayonnement* est le processus par lequel la chaleur est transmise d'un corps à température plus élevée à un corps à température moins élevée, sans que ces deux corps se touchent.
- La *convection* est le processus de transfert d'énergie provoqué par l'action conjuguée de la conduction thermique, du stockage d'énergie et d'un mouvement de mélange.
- La *conduction* est le processus par lequel la chaleur d'une zone de haute température est transmise à une zone de température plus basse au sein d'un milieu (solide, liquide ou gazeux), ou entre divers milieux directement en contact. La conduction thermique a pour effet apparent d'équilibrer la température entre les milieux. Cependant, si les écarts de température sont maintenus en ajoutant ou en enlevant de la chaleur en divers endroits, il y a alors transmission de chaleur de la zone plus chaude à la zone plus froide.
- La *conductivité thermique* (k) est la mesure de l'énergie calorifique transmise à travers une matière homogène d'une épaisseur unitaire. Une matière à faible conductivité thermique constitue une bon isolant. Cette mesure est exprimée sous la forme W/(m·°C) ou (Btu·po)/(pi^2·h·°F).
- La *conductance thermique* (C) est la mesure de l'énergie calorifique transmise à travers une matière homogène d'une épaisseur autre qu'unitaire ou d'un assemblage. Cette mesure est exprimée sous la forme W/(m^2·°C) ou [Btu/(pi^2·h·°F)].
- La *transmittance thermique* (U) est la mesure de l'énergie calorifique transmise par une matière ou un assemblage, y compris les couches d'air limites. Cette mesure est exprimée sous la forme W/(m^2·°C) ou [Btu/(pi^2·h·°F)].
- La *résistance thermique* (RSI ou R) indique la valeur isolante relative, ou la résistance d'un matériau au flux calorifique. La résistance thermique est l'élément primordial à considérer dans le choix d'un isolant. Plus la valeur «R» est élevée, meilleur est l'isolant.

Les valeurs k, C, U et R peuvent être mises en équation de la façon suivante.

$$R = \frac{t}{k} = \frac{1}{C} = \frac{1}{U}$$

Où, t = épaisseur de l'isolant (mètres ou pouces)

- La *température moyenne* représente la moyenne arithmétique des températures superficielles chaude et froide de l'isolant à travers lequel il y a transmission de chaleur.

- L'*émissivité* correspond au rapport entre l'énergie calorifique irradiée par une surface donnée et celle irradiée par un corps noir idéal, à la même température.
- Un *corps noir* est défini comme étant soit, un corps qui absorbe complètement tous les rayonnements incidents et n'en réfléchit ou n'en transmet aucun, soit, un radiateur qui émet, à toute température spécifique, le maximum de radiation thermique.

Propriétés importantes à considérer pour le choix des isolants

Voici une liste des propriétés importantes dont il faut tenir compte lors du choix d'un matériau isolant.

- La *résistance thermique*. Plus la valeur de la résistance thermique est élevée, meilleur est le pouvoir isolant du matériau.
- La *combustibilité*. Il s'agit d'une propriété importante car elle permet d'évaluer le risque que représente le matériau isolant comme agent de propagation d'incendie.
- La *rétraction*. La rétraction ou l'assèchement revêt une importance considérable à température élevée, certains points pouvant devenir dénudés sous l'effet de la rétraction.
- La *résistance aux rayons ultraviolets*. Lorsque l'isolant est posé à l'extérieur et qu'il est exposé aux rayons du soleil, il est important qu'il puisse résister aux rayons ultraviolets sans perdre de son efficacité. La solution, dans ce cas, consiste à recouvrir l'isolant d'une matière qui réfléchit les rayons du soleil.
- La *résistance aux moisissures et aux bactéries*. Cette propriété est importante, surtout, dans le cas des industries des produits alimentaires et cosmétiques.
- La *neutralité chimique*. L'isolant doit être chimiquement neutre (pH 7) afin d'éviter qu'il s'attaque aux métaux avec lesquels il vient en contact. Cette propriété est particulièrement importante lorsque l'isolant est soumis à l'humidité de façon intermittente.
- Le *coefficient de dilatation et de contraction*. Cette propriété prend toute son importance lors de la conception et de la localisation des joints de dilatation et de contraction, ainsi que lors de l'installation d'isolants multicouches.
- La *résistance à la compression*. La résistance à la compression est un facteur important lorsque l'isolant doit supporter un poids ou un effort mécanique. Pour coussiner ou combler un espace, comme dans le cas des joints de dilatation et de contraction, on utilise normalement des matériaux isolants à faible coefficient de résistance à la compression.
- La *charge de rupture*. La charge de rupture est un facteur important dans les installations où l'isolant est appliqué sur des surfaces irrégulières ou non homogènes, alors que l'isolant doit assurer la continuité entre deux supports.
- La *capillarité*. Lorsqu'un isolant est en contact avec des liquides toxiques ou inflammables, ou est utilisé dans les secteurs exposés à des lavages, il est important de tenir compte de l'absorptivité des matériaux envisagés.
- L'*aspect*. L'aspect visuel est important lorsque l'isolant est visible ou pour fin d'identification.
- La *masse volumique*. La masse volumique d'un isolant agit sur plusieurs autres propriétés de ce matériau, en particulier, les propriétés thermiques.

Il est possible que certaines des propriétés énumérées ci- dessus ne s'appliquent pas au projet à l'étude, cependant, il faut toutes les considérer, et ensuite écarter celles qui n'ont pas d'utilité. La feuille de travail 1-1 constitue une liste de points de vérification servant à établir les propriétés importantes pour un usage particulier.

S'ils sont bien installés, les isolants mécaniques peuvent durer aussi longtemps que les pièces d'équipement ou les tuyaux qu'ils recouvrent. Les isolants mécaniques doivent toujours être installés conformément aux recommandations du fabricant.

Propriétés de transfert de chaleur

Un objet chaud peut perdre de la chaleur de trois façons (figure 1).

- Par rayonnement dans son milieu;
- par convection avec le fluide qui l'entoure;
- par conduction avec les autres objets avec lesquels il est en contact.

Rayonnement

Le rayonnement est le processus selon lequel de la chaleur est transmise à partir d'un corps ayant une température plus élevée à un corps ayant une température moins élevée, sans que ces deux corps viennent en contact. L'énergie ainsi transmise s'appelle chaleur de rayonnement. Tous les objets émettent continuellement de la chaleur de rayonnement. L'intensité de l'émission est fonction de la température et de la nature de la surface du corps émetteur.

Lorsque les ondes de rayonnement rencontrent un autre corps, leur énergie est captée près de la surface. La transmission de chaleur par rayonnement s'accroît à mesure que la température d'un émetteur augmente. À température normale, la chaleur de rayonnement est souvent négligeable.

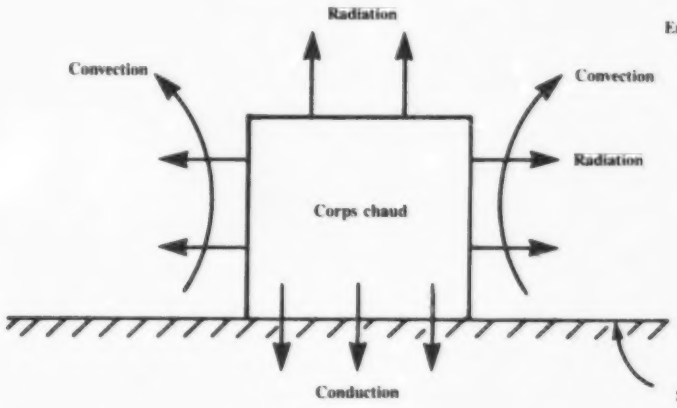
Convection

La *convection* est le processus de transfert de chaleur provoqué par l'action combinée de la conduction thermique, du stockage d'énergie et d'un mouvement de mélange. La convection est le phénomène de transfert de chaleur le plus important, entre la surface d'un solide et d'un liquide ou d'un gaz.

Le transfert d'énergie par convection s'effectue en plusieurs étapes. D'abord, la chaleur passe par conduction de la surface du solide aux particules adjacentes du fluide. L'énergie ainsi transmise cause une élévation de température et d'énergie au sein des particules de fluide. Les particules réchauffées sont attirées vers des secteurs à plus basse température où elles se mélangent à d'autres particules, perdant ainsi une partie de leur énergie. Dans ce cas, il y a courant de fluide et courant d'énergie. Le résultat net est un transfert d'énergie correspondant à un gradiant de température appelé *flux thermique par convection*.

Conduction

La *conduction* est le processus suivant lequel la chaleur circule d'une région haute température à une région basse température, soit, au sein d'un solide, d'un liquide ou d'un gaz, soit, entre différentes matières en contact direct. Dans le cas du flux thermique par conduction, l'énergie se transmet par contact moléculaire direct sans déplacement appréciable des molécules. L'effet apparent de la conduction thermique est un équilibrage des températures des deux corps en contact. Cependant, si l'écart de température est maintenu artificiellement par l'addition ou la soustraction de chaleur, il se produira alors un flux régulier de chaleur de la zone chaude à la zone froide.



Radiation – Convection – Conduction
Figure 1

Flux thermique

Le terme *flux thermique* représente le taux de déplacement de la chaleur à partir d'une zone haute température à une zone basse température. *Le matériau isolant a pour fonction de retarder le flux thermique.* Le terme conductivité thermique (k) exprime la quantité de chaleur circulant à travers une section unitaire soumise à un écart de température de un degré.

La conductivité thermique (k) s'exprime en watts par mètre par degré Celcius [W/(m·°C)] ou en [(Btu·po)/(h·pi^2·°F)].

La résistance thermique peut alors être définie comme la résistance au passage de la chaleur à travers l'isolant et peut être exprimée par les équations suivantes.

Résistance thermique = $R = \frac{t}{k}$ [$(m^2 \cdot °C)/W$] ou

[$(h \cdot pi.^2 \cdot °F)/(BTU \cdot po.)$]

Où, t = épaisseur de l'isolant [mètres ou pouces].

Plus la valeur de R est élevée, meilleur est l'isolant.
Dans le cas d'une surface plane, le flux thermique circulant à travers un isolant peut se calculer de la façon suivante.

$$\text{Flux thermique à l'heure} = \frac{DT \times A}{R} \text{ Wh}$$

Où, DT = écart de température entre les surfaces du matériau isolant (°C).

A = surface extérieure (m^2).

À titre d'exemple, considérons une surface plane de 10 m^2 à une température de 140°C. Cette surface est recouverte d'un isolant de 51 mm d'épaisseur ayant une conductivité thermique de 0,045 W/(m·°C). La température externe de l'isolant est de 10°C. La résistance thermique peut être alors déterminée comme suit.

$$R = \frac{t}{k}$$

$$= \frac{0,051}{0,045}$$

$$= 1,133 \ (m^2 \cdot °C)/W$$

Le flux thermique à l'heure à travers l'isolant peut être calculé comme suit.

$$\text{Flux thermique à l'heure} = \frac{DT \times A}{R}$$

$$= \frac{(140 - 10) \times 10}{1,133}$$

$$= 1147,4 \text{ Wh}$$

Le flux thermique à travers l'isolant des tuyaux se calcule d'une façon différente puisque les surfaces externes et internes de l'isolant n'ont pas la même aire. Il faut tenir compte de cette différence dans le calcul de flux thermique. Ainsi, à mesure que la chaleur se propage dans l'isolant, vers l'extérieur du tuyau, le flux thermique couvre une plus grande superficie, cette caractéristique ayant pour effet d'accroître la valeur de résistance thermique.

Pour compenser cet effet, la notion d'«épaisseur équivalente» doit être intégrée à la formule. Dans le cas d'isolant de tuyauterie, la résistance thermique s'exprime alors comme suit.

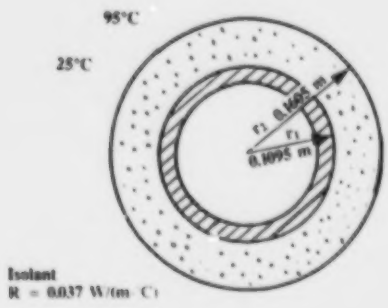
$$R = \frac{\text{épaisseur équivalente}}{\text{conductivité}} \ [(m^2 \cdot °C)/W]$$

$$= \frac{r_2 \times \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{k}$$

Où, r = rayon extérieur de l'isolant (m)

r_1 = rayon intérieur de l'isolant (m)

ln = logarithme naturel (ou népérien)



Isolant type
Figure 2

Par exemple, considérons la perte de chaleur d'un tuyau de 0,219 mètre de diamètre et de 1 mètre de longueur maintenu à 95°C. L'isolant de 51 mm d'épaisseur possède une conductivité thermique de 0,037 W/(m.°C) et une température de 25°C sur la surface extérieure. Dans cet exemple montré à la figure 2, le flux thermique à travers l'isolant se calcule comme suit.

$$r_2 = \frac{0{,}219}{2} + 0{,}051$$

$$= 0{,}1605 \text{ m}$$

$$r_1 = \frac{0{,}219}{2}$$

$$= 0{,}1095 \text{ m}$$

$$= \frac{r_2 \times \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{k}$$

$$= \frac{0{,}1605 \times \ln \frac{0{,}1605}{0{,}1095}}{0{,}037}$$

$$= \frac{0{,}1605 \times \ln (1{,}466)}{0{,}037}$$

$$= \frac{0{,}1605 \times 0{,}3825}{0{,}037}$$

$$= 1{,}66 \text{ (m}^2\text{.°C)/W}$$

$$\text{Flux thermique à l'heure} = \frac{DT \times A}{R}$$

$$= \frac{(95\text{-}25) \times 1{,}008}{1{,}66}$$

$$= \frac{70 \times 1{,}008}{1{,}66}$$

= 42,51 Wh/mètre de longueur de tuyau

À remarquer que «A» ci-dessus représente l'étendue de la surface extérieure d'une longueur de 1 mètre de tuyau isolé, ce qui se calcule de la façon suivante.

$A = \pi \times D \times 1$

Où, $\pi = 3{,}14159$

D = diamètre extérieur de l'isolant (diamètre extérieur du tuyau + 2 x l'épaisseur de l'isolant)

1 = longueur unitaire (dans ce cas: 1 mètre)

Donc, $A = \pi \times (0{,}219 + (2 \times 0{,}051)) \times 1$

$= \pi \times (0{,}321) \times 1$

$= 3{,}14159 \times 0{,}321$

$= 1{,}008\ m^2$

Revêtements et enduits de protection

Le rendement et la vie utile d'un isolant sont en rapport direct avec les moyens prévus pour le protéger contre l'humidité et les dommages physiques ou chimiques. Lors du choix des revêtements et enduits protecteurs, outre les facteurs de coût et d'aspect, il faut aussi tenir compte des particularités de l'installation, comme l'humidité et les conditions physiques, chimiques et thermiques.

Les revêtements de protection sont groupés en six catégories, selon leurs fonctions.

- Les écrans, servant à protéger l'isolant des effets des intempéries.
- Les coupe-vapeur, pour retarder le passage de vapeur d'eau dans l'atmosphère à l'isolant.
- Les revêtements de protection mécanique, servant à protéger l'isolant contre les dommages physiques que peuvent occasionner le personnel, les appareils ou les machines.
- Les retardateurs de flamme et revêtements résistants à la corrosion, réduisant les effets de la propagation des flammes ou de la corrosion.
- Les revêtements et enduits esthétiques permettant d'améliorer l'aspect extérieur des isolants dans les endroits visibles.
- Les revêtements hygiéniques présentant des surfaces lisses en vue de résister aux moisissures et aux bactéries.

Pour plus de détails sur ces matériaux, consulter la section «Matériaux et systèmes» du présent module.

Coupe-vapeur

Le coupe-vapeur est un matériau retardant le passage de la vapeur d'eau sous certaines conditions particulières. Une norme de l'Office des normes générales du Canada, la norme 51-GP-52M, donne un aperçu de deux types d'enveloppes et de garnitures servant de coupe-vapeur dans des applications mécaniques. Ce sont les types 1 et 2.

Un coupe-vapeur est requis lorsque l'isolant doit recouvrir des tuyaux ou des appareils soumis à une température de service plus basse que la température ambiante. Le coupe-vapeur de type 1 se caractérise par une perméance faible et une bonne résistance à la perforation tandis que le coupe-vapeur de type 2 possède une perméance normale et une résistance modérée aux perforations.

La perméance d'un matériau se définit comme la capacité de celui-ci à transmettre la vapeur d'eau lorsque soumis à une différence de pression unitaire entre deux surfaces données. L'unité normative de perméance est le perm.

Un perm métrique = 1 ng/(Pa·s·m^2).

Les coupe-vapeur de type 1 sont conçus comme enveloppe d'isolant des tuyaux situés dans des endroits exposés ou à l'abri de même que comme revêtement d'isolant aux conduits ou appareils exposés. Le coupe-vapeur de type 1 a une perméance à la vapeur d'eau de 1,10 perms. Ces revêtements sont généralement utilisés à l'intérieur.

Les coupe-vapeur de type 2 sont conçus comme revêtement d'isolant pour les conduits et appareils à l'abri. La perméance à la vapeur d'eau des coupe-vapeur de type 2 est de 1,70 perms.

Certains matériaux isolants comme les fibres minérales et le silicate de calcium sont perméables à la vapeur d'eau et donc, vulnérables à l'humidité. Par contre, certains isolants à faible perméabilité à la vapeur, comme le verre cellulaire, peuvent constituer un coupe-vapeur satisfaisant en autant que les joints soient bien étanches.

Lorsqu'il y a condensation d'eau à l'intérieur d'un isolant, les propriétés isolantes s'en trouvent réduites, cette réduction étant directement proportionnelle au pourcentage en volume d'isolant imbibé d'eau. De plus, l'isolant devenu humide peut causer la corrosion des pièces mécaniques. En milieu humide, il est donc très important d'installer un coupe-vapeur ininterrompu afin de prévenir ces problèmes.

Les composés mastics semi-liquides et les enduits protecteurs appliqués sur place offrent un indice de perméance faible après séchage. On peut les appliquer au jet, au pinceau ou à la truelle, en une ou plusieurs couches continues de façon à obtenir l'épaisseur stipulée par le fabricant. Pour que les éléments du coupe-vapeur résistent bien au fissurage, il peut être nécessaire de prévoir des dispositifs de renforcement.

On peut aussi employer des rubans adhérents par pression comme éléments du système de coupe-vapeur. Dans ce cas, il faut prendre soin d'appliquer une pression suffisante pour assurer un collage permanent.

Prévention

L'un des rôles de l'isolant est de contrôler la température des surfaces afin de protéger le personnel. L'édition 1985 du Code national du bâtiment du Canada stipule que les conduites accessibles au toucher doivent être isolées de telle sorte que la température de la surface accessible ne dépasse pas 70°C. Les normes et règlements provinciaux et municipaux qui s'appliquent en matière d'isolation doivent également être respectés.

Gammes de températures d'isolation

Le terme «calorifugeage» est employé quand il s'agit de contrôler des températures comprises entre −73°C (−100°F) et 982°C (1800°F). Dans le cas des basses températures, soit, sous −73°C (−100°F), il s'agit d'applications de type *cryogène* tandis que pour les hautes températures, soit, au-dessus de 982°C (1800°F), ce sont des applications de type *réfractaire*.

Le calorifugeage est lui-même divisé en trois grands intervalles de températures, selon les utilisations.

Calorifugeage pour basses températures

À basse température, les isolants sont groupés selon trois gammes de température.

- 16°C (60°F) jusqu'à 0°C (32°F) − eau fraîche ou refroidie.
- −1°C (31°F) jusqu'à −39°C (−39°F) − réfrigérant ou glycol.
- −40°C (−40°F) jusqu'à −73°C (−100°F) − réfrigérant ou saumure.

Les principales préoccupations, dans les milieux fonctionnant à basse température, sont la pénétration de l'humidité et le rendement. Idéalement, le matériau ou dispositif d'isolation ne doit pas absorber d'humidité et sécher facilement. L'isolant doit aussi résister à la détérioration par l'eau.

Les coupe-vapeur sont très répandus, mais en pratique, il est à peu près impossible de se doter d'un coupe-vapeur parfait. La pression de vapeur provenant de la surface externe plus chaude est telle que, même avec un isolant imperméable, la vapeur réussit à pénétrer par les joints mal fermés ou les fissures pour ensuite se condenser et geler, causant alors des dommages. Les coupe-vapeur doivent avoir un perm bien en dessous de 1. Plus la température de service de l'appareil est basse, plus le perm doit être bas.

Étant donné que le coût de réfrigération est plus élevé que le coût de chauffage, il est souvent justifié d'installer plus d'isolant en milieu à basse température. Ainsi, on utilise parfois des épaisseurs d'isolant excédant la limite de rentabilité pour de telles applications afin de maintenir la température en surface au-dessus du point de rosée.

Calorifugeage pour températures intermédiaires

Dans la gamme des températures comprises entre 16°C (61°F) et 315°C (600°F), on compte la plupart des procédés industriels, ainsi que les réseaux d'eau chaude et de vapeur des installations commerciales. Ici, pour la sélection des matériaux isolants, les valeurs thermiques ont beaucoup plus d'importance que dans le cas des installations à basse température. Cependant, d'autres facteurs sont à considérer, comme les propriétés physiques et chimiques, les formats disponibles, le temps d'installation et le coût.

Calorifugeage pour hautes températures

Le calorifugeage pour hautes températures s'applique dans le cas de températures de service situées entre 315°C (600°F) et 870°C (1600°F). À mesure que les températures se rapprochent du seuil d'isolation réfractaire, les matériaux et méthodes d'application disponibles sont de plus en plus limités. Les isolants pour hautes températures sont souvent des mélanges de différents matériaux ou de matériaux de même nature agglomérés à l'aide d'agglomérants spéciaux. L'enrobage est généralement réalisé sur place. Les applications regroupent les réseaux d'alimentation énergétique industriels, la tuyauterie et les appareils d'un procédé, les chaudières commerciales, les systèmes d'échappement, les fours et les incinérateurs.

Méthode de sélection

Même si l'isolation des secteurs non isolés rapporte des bénéfices immédiats, il ne faudrait pas négliger pour cela les économies potentielles à long terme. Toute installation dont l'isolation n'a pas été améliorée au cours des cinq dernières années est probablement mal isolée.

On peut réaliser des économies immédiatement en isolant les secteurs non isolés. Il peut s'agir de tuyauterie, de réservoirs, de vaisseaux ou de robinetterie et de raccords. Ces deux derniers éléments nécessitent, en général, un isolant de même type et de même épaisseur que celui employé pour les tuyaux, conduites et appareils environnants.

Épaisseur d'isolant recommandée

Les tables 1 et 2, en annexe, présentent les données requises pour effectuer le calcul des économies d'énergie. Ces tables indiquent la perte de chaleur subie par un tuyau d'acier dénudé et par une surface plane d'acier dénudée, dans la gamme de températures qu'on trouve normalement dans les installations. Ces données sont basées sur une température ambiante de 21,1°C.

Pour le calorifugeage des procédés, des tables élaborées à partir de critères d'ordre économique présentent l'«épaisseur d'isolant recommandée» pour différents matériaux isolants et à différentes températures. La table 3 en est un exemple, elle porte sur les fibres minérales, le silicate de calcium et le verre cellulaire, pour l'isolation de tuyaux variant de NPS ½ à NPS 36, à des températures de service variant entre 65 et 566°C. Ces tables s'appliquent aussi aux surfaces planes.

A remarquer que pour les réservoirs ou vaisseaux circulaires d'un diamètre supérieur à NPS 36 (914 mm), la surface est considérée comme plane pour fins de calcul des pertes de chaleur.

Comme exemple d'utilisation de ces tables, considérons un tuyau d'acier NPS 6 sans isolant, utilisé à une température de service de 121°C et une température ambiante de 21,1°C. La table 1 montre que cette conduite subit une perte de chaleur équivalente à 700 Wh/m linéaire par heure de service. Avec une épaisseur de 76 mm d'isolant de fibres minérales, tel que recommandé à la table 3, la perte de chaleur serait réduite à 36 Wh/m lin. par heure de service, tandis que la surface extérieure de l'isolant maintiendrait une température de 23°C.

Les fabricants d'isolant ont dressé des tables semblables pour divers matériaux puisque la résistance thermique varie tant en fonction des matériaux employés que des températures de service. S'il est impossible de se procurer la table requise, on peut effectuer le calcul des pertes de chaleur des tuyaux et des surfaces planes en utilisant l'équation présentée à la section précédente du présent module intitulée «Flux thermique», et avec les valeurs de «R» tirées de la table 4.

Une série de calculs doit être réalisée afin de comparer les économies d'énergie au coût global d'isolation. Grâce à ces calculs, il sera possible de déterminer l'épaisseur d'isolant la plus rentable.

Une façon d'augmenter les économies tirées de l'isolation consiste à en améliorer la qualité en se guidant sur les recommandations d'épaisseurs apparaissant à la table 3.

Il peut arriver que les tables ne soient pas utilisables du fait que les conditions du bâtiment ou de l'usine ne soient pas les mêmes que celles ayant servi à l'élaboration des tableaux des épaisseurs. Dans ces cas, il faut calculer l'épaisseur d'isolant requis de manière à optimaliser les investissements.

Épaisseur recommandée pour budget restreint

Sur les systèmes mécaniques chauds, la tuyauterie suscite généralement les plus grandes pertes de chaleur. *Avec un budget restreint, il faut identifier la source la plus importante de perte de chaleur et isoler celle-ci d'abord.* Les premiers 25 mm d'épaisseur d'isolant sont les plus rentables en termes d'économie d'énergie, mais ne sont pas nécessairement la solution offrant un rendement maximal sur les investissements. Cette méthode de réduction des coûts peut néanmoins constituer une excellente initiative lorsque le calorifigeage doit être défrayé à même le budget annuel de maintenance et d'exploitation. Toutefois il faut considérer que le contenu de main-d'oeuvre peut être le même, qu'il s'agisse de l'installation d'un isolant minimum de 25 mm ou de plus grande épaisseur.

Épaisseur d'isolant rentable

On peut considérer le calorifugeage comme un placement à long terme produisant des avantages financiers après une période de récupération plutôt courte. Il existe bon nombre de programmes d'ordinateur facilitant la sélection de l'épaisseur d'isolant la plus rentable, soit celle pouvant procurer le plus haut pouvoir d'isolation thermique au meilleur coût possible. Pour plus de renseignements à ce sujet, consulter l'annexe E.

Les considérations d'ordre économique doivent prévaloir dans l'évaluation d'hypothèses d'investissements. En matière de calorifugeage, elles peuvent éclaircir les points suivants.

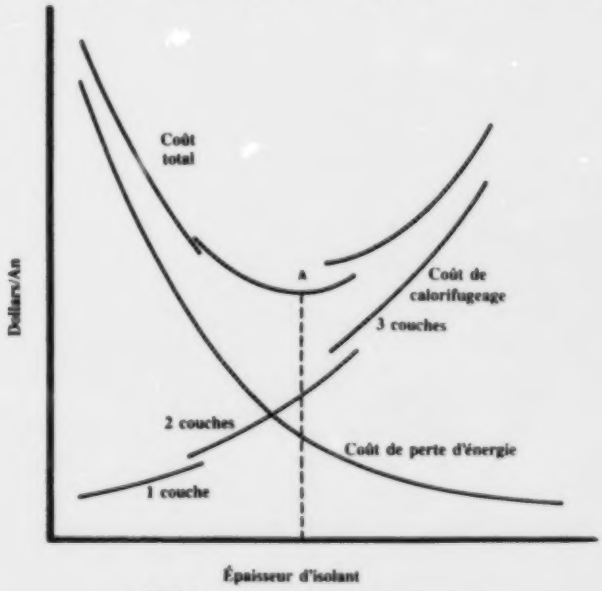
- Évaluation de deux ou plusieurs matériaux isolants en fonction d'un rendement thermique donné au meilleur coût possible.
- Sélection de l'épaisseur optimale d'isolant pour un type d'isolant donné.

Dans l'un ou l'autre cas, c'est par l'analyse économique que l'on peut dégager la solution la plus rentable.

Une épaisseur d'isolant additionnée à celle déterminée économiquement ne permet pas d'améliorer le rendement sur l'investissement.

Les coûts de main-d'oeuvre et de matériaux augmentent en fonction de l'épaisseur. Il arrive souvent que la pose de l'isolant soit faite en couches superposées, parce que le matériau n'est pas disponible dans l'épaisseur requise, ou qu'on veuille contrer les effets de dilatation et de contraction. Il en résulte des coûts de main-d'oeuvre plus importants que pour l'installation d'une couche unique d'épaisseur équivalente. La figure 3 présente les coûts types pour des installations multicouches. La pente des courbes s'élève en fonction du nombre de couches puisque les coûts de matériaux et de main-d'oeuvre augmentent à un taux plus rapide que l'épaisseur d'isolant.

Le coût des pertes d'énergie est fonction du taux de transfert de chaleur dans l'isolant et de la valeur monétaire de l'énergie. La figure 3 montre que le coût des pertes d'énergie décroît à mesure que s'accroît l'épaisseur de l'isolant.



Établissement de l'épaisseur économique
Figure 3

À titre d'exemple, considérons le calorifugeage d'un procédé où se trouve une surface plane retenant un fluide à 150°C, la température ambiante étant de 20°C.

Le calcul des pertes de chaleur pour 50, 75 et 100 mm d'isolant de fibre de verre ayant une masse volumique de 24 kg/m^3 permet de déterminer les pertes de chaleur pour les différentes épaisseurs d'isolant.

Température du procédé: 150°C

Température ambiante: 20°C

Écart de température (DT): 150 − 20 = 130°C

À la table 5, on constate que la conductivité thermique (k) pour une température moyenne de 93,3°C (la valeur la plus proche n'excédant pas 130°C) est de 0,053 W/(m.°C).

La résistance thermique (R) peut alors être calculée pour les différentes épaisseurs d'isolant au moyen de l'équation

$$R = \frac{t}{k}$$

$$R_{50} = \frac{0{,}050}{0{,}053} = 0{,}943$$

$$R_{75} = \frac{0{,}075}{0{,}053} = 1{,}415$$

$$R_{100} = \frac{0{,}100}{0{,}053} = 1{,}887$$

La surface étant plane, la superficie à considérer reste la même pour les différentes épaisseurs d'isolant. On peut alors calculer les pertes de chaleur sur 1 m^2 pour chaque épaisseur d'isolant.

Perte de chaleur à l'heure $= \frac{DT \times A}{R}$

Perte de chaleur à l'heure/m^2 (50 mm d'isolant) $= \frac{130 \times 1}{0{,}943}$

$= 137{,}86$ Wh

Perte de chaleur à l'heure/m^2 (75 mm d'isolant) $= \frac{130 \times 1}{1{,}415}$

$= 91{,}873$ Wh

Perte de chaleur à l'heure/m^2 (100 mm d'isolant) $= \frac{130 \times 1}{1{,}887}$

$= 68{,}89$ Wh

À partir de la table 2, on peut établir que la perte de chaleur d'une surface similaire non isolée d'un mètre carré serait d'environ 2 100 Wh/m^2 par heure de service.

Traduites sous forme graphique (figure 4) les données relatives aux épaisseurs d'isolant comparées aux pertes de chaleur permettent d'obtenir une courbe des pertes de chaleur.

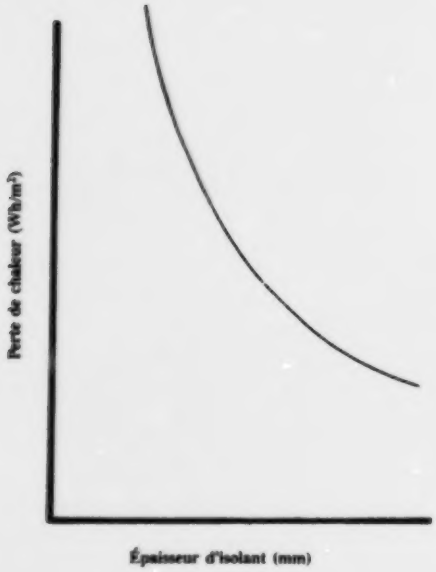
Connaissant la valeur de l'énergie calorifique, on peut établir le coût matériel des pertes de chaleur pour les différentes épaisseurs d'isolant en utilisant les équations suivantes.

Perte en dollars par unité de surface = Perte de chaleur par unité de surface x $ par unité d'énergie calorifique

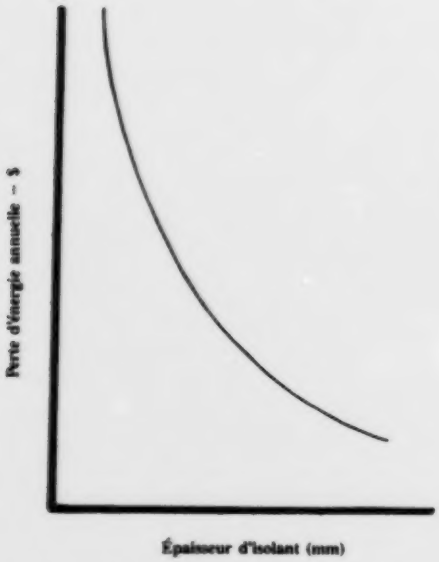
Coût des pertes (figure 5) = Surface totale x $ de perte par surface unitaire x heures/année

Le coût de l'isolation une fois installée peut alors être établi pour les différentes épaisseurs d'isolant, ce qui permet d'obtenir une deuxième courbe (figure 6).

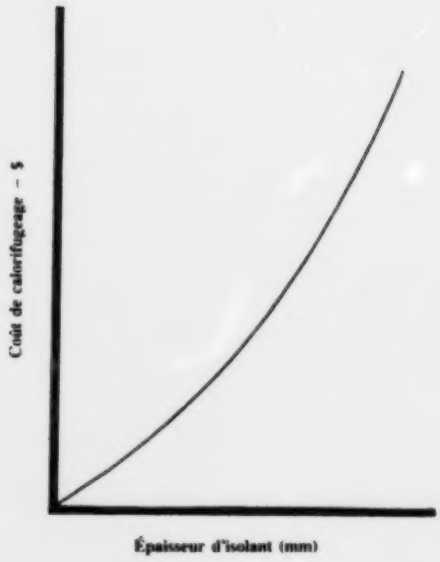
Les courbes des figures 5 et 6 peuvent être totalisées pour produire une nouvelle courbe dont la forme rappelle celle de la figure 3. Lorsque les courbes représentant les pertes matérielles et le coût d'isolation sont ainsi combi-



Perte de chaleur d'une surface plane
Figure 4



Coût de perte d'énergie à diverses épaisseurs d'isolant
Figure 5



Coût de calorifugeage à diverses épaisseurs
Figure 6

nées et que la nouvelle courbe est dessinée, c'est l'épaisseur d'isolant correspondant au point le plus bas de la nouvelle courbe qui représente la solution la plus rentable.

Analyse énergétique

Une analyse énergétique consiste à identifier les sources de pertes d'énergie dans les installations, à cause de l'absence d'isolation ou d'une isolation insuffisante.

L'analyse peut considérer l'installation dans son ensemble, ou ne porter que sur certaines pièces d'équipement ou certains réseaux de tuyauterie.

Analyse au passage

En premier lieu, une *analyse au passage* s'impose, celle-ci consistant en une visite de l'ensemble des installations en vue d'identifier les signes évidents de perte d'énergie. Cette vérification primaire est généralement plus efficace lorsqu'elle est menée par quelqu'un qui connaît, à la fois, les domaines de l'isolation de procédés et de la gestion d'énergie et qui n'est pas relié à l'exploitation sous examen.

Au cours d'une vérification primaire, les points auxquels il faut porter attention sont le manque d'isolant, les isolants endommagés, les surfaces chaudes ou froides, les isolants humides, les revêtements et enduits protecteurs en voie de détérioration, l'absence de coupe-vapeur, les coupe-vapeur endommagés, les secteurs dépourvus d'isolant aux joints de dilatation et de contraction, la chaleur excessive rayonnant des surfaces isolées et autres problèmes similaires.

Analyse de diagnostic

Une fois les problèmes identifiés au cours de l'analyse au passage, une analyse de diagnostic est requise afin d'établir les pertes d'énergie actuelles, l'amélioration pouvant résulter de l'addition ou du remplacement de matériaux isolants et de revêtements de protection, ainsi que le coût global d'un tel projet. La réduction de consommation d'énergie détermine les économies en dollars.

Ensuite, à l'aide de ces données, de simples calculs de rentabilité permettront de déterminer la viabilité de la possibilité envisagée.

Possibilités de gestion de l'énergie

Les possibilités de gestion de l'énergie se divisent en trois catégories.

- Les *possibilités de maintenance* sont des initiatives *répétées de façon périodique et jamais moins d'une fois par année*. Cette catégorie englobe, par exemple, la réparation des revêtements et enduits d'isolant ainsi que des matériaux isolants endommagés.
- Les//possibilités d'amélioration à coût modique regroupent les initiatives *réalisées une seule fois et dont le coût n'est pas considéré comme important*. Un exemple d'une telle possibilité peut être l'isolation des robinets et des raccords et le remplacement des revêtements et enduits de protection.
- Les *possibilités de rénovation* sont des initiatives qui *ne sont effectuées qu'une fois et dont le coût est considérable*. Une possibilité de rénovation peut être, par exemple, l'isolation de la tuyauterie, des conduites, des vaisseaux, des réservoirs et des appareils ou l'ajout d'isolant jusqu'à l'épaisseur recommandée, ou encore, la réfection des enveloppes isolantes des réservoirs et vaisseaux installés à l'extérieur.

À noter que, du point de vue financier, la distinction entre les possibilités d'amélioration à coût modique et les possibilités de rénovation est fonction de la taille, du genre, de même que des pratiques financières de l'entreprise.

MATÉRIAUX ET SYSTÈMES

Le présent chapitre décrit les types d'isolants les plus usuels de même que les usages et applications possibles. La présentation englobe aussi les revêtements et enduits de protection ainsi que leurs utilisations.

Types et formes d'isolants

Aux pages qui suivent, les matériaux isolants sont classés suivant le *type* et la *forme*. Le *type* désigne la composition et la structure interne du matériau, tandis que la *forme* décrit l'aspect général ou l'utilisation.

Règle générale, on classe les matériaux isolants en trois types.

- Les *isolants fibreux* – composés de fibres de petit diamètre répartissant finement le volume d'air interne. Les fibres peuvent être disposées parallèlement ou perpendiculairement à la surface isolée, et être libres ou liées ensemble. Ce sont généralement des fibres de verre, de roche, de laitier ou de silice d'aluminium. Les plus répandus sont les isolants de fibre de verre et de laine minérale (roche et laitier).
- Les *isolants cellulaires* – constitués d'alvéoles distinctes les unes des autres. Ces matériaux cellulaires peuvent être fabriqués de verre ou de mousse plastique comme le polystyrène (à cellule fermée), le polyuréthanne et l'élastomère.
- Les *isolants granulaires* – formés de petits nodules contenant des interstices ou des espaces creux. Ces isolants n'appartiennent pas au genre cellulaire du fait que le gaz peut voyager d'un espace à un autre. Les matériaux de ce genre sont disponibles en vrac ou prémélangés à un adhésif et à des fibres pour produire un isolant rigide.

Les isolants existent en diverses formes afin de convenir aux différentes fonctions et utilisations. Les méthodes d'installation varient selon le type et la forme de l'isolant. Les formes les plus courantes sont:

- Les panneaux rigides, blocs, feuilles et isolants préformés (tels isolants de tuyaux, segments de courbe, enveloppes isolantes de chaudières). Ce sont les matériaux cellulaires et granulaires qui servent à produire ces formes.
- Les feuilles flexibles et isolants préformés. Ces formes sont fabriquées surtout à l'aide d'isolants fibreux et cellulaires.
- Les couvertures flexibles. Ces isolants sont produits à partir de matériaux fibreux.
- Les enduits (d'isolation et de finition) – Ces substances sont un amalgame d'isolants fibreux et granulaires mêlés à du mastic. Le séchage s'effectue à l'air ou à l'humidité.

Principaux matériaux isolants

Ci-dessous, on trouve les caractéristiques et qualités des principaux matériaux isolants d'emploi courant dans les installations industrielles, commerciales et publiques.

- Le *silicate de calcium* est un isolant granulaire composé de chaux et de silice, renforcé à l'aide de fibres d'origine organique et inorganique et moulé en pièces rigides. Cet isolant convient à des températures s'échelonnant entre 38°C (100°F) et 982°C (1800°F). Ce matériau possède une bonne résistance à la flexion. Bien qu'il absorbe l'eau, le silicate de calcium sèche sans détérioration. Incombustible, cet isolant s'emploie surtout sur les surfaces et tuyaux chaudes. En général, le chemisage est effectué sur place.
- Les *élastomères cellulaires* sont constitués principalement d'élastomères synthétiques ou naturels (ou des deux), et fabriqués en une mousse flexible, semi-rigide ou rigide à structure cellulaire prédominante. La température limite supérieure est de 104°C (221°F).
- Le *verre cellulaire* est produit sous forme de panneaux, d'isolant de tuyaux et autres formes d'isolants. Son usage convient à des températures de service situées entre -40°C (-40°F) et 482°C (900°F). Ce matériau possède une faible conductivité thermique à basse température, une faible résistance à l'abrasion. Dans les

formes fibreuses et cellulaires, il offre une bonne insonorisation et une bonne résistance à la corrosion du métal qu'il recouvre.

- Le *verre fibreux* est produit en isolants de différentes formes, dont les couvertures flexibles, les panneaux rigides et semi-rigides et les isolants de tuyaux. Les températures d'utilisation se situent entre -73°C (-110°F) et 538°C (1 000°F) selon la structure interne et l'agglomérant employé dans la fabrication. La fibre de verre est liée au moyen d'un adhésif réfractaire. Les isolants à base de fibre de verre ont une faible conductivité. Ce matériau est facile à couper, et bien qu'il ait une résilience élevée, sa résistance au choc est faible. Le coût d'installation est modique. Du fait de leur capacité à amortir les sons, les isolants en fibre de verre aident à l'insonorisation.
- Les *mousses plastiques* sont des matériaux où prédomine la structure cellulaire. La conductivité thermique peut se détériorer (c'est-à-dire augmenter) au fil du temps, par suite de la diffusion d'air dans les cellules. Ces mousses plastiques sont légères et se coupent facilement. De nature, ce sont des matériaux combustibles, mais ils peuvent être rendus ignifuges en cours de fabrication. Les mousses plastiques sont disponibles en panneaux et isolants préformés. Elles sont généralement utilisées dans les gammes de températures basses et intermédiaires.
- Les *enduits d'isolation et de protection* sont des mélanges de diverses fibres isolantes, d'agglomérant, d'eau et de ciment. Ces enduits ont l'aspect d'une masse plastique suffisamment malléable pour l'application sur des surfaces irrégulières. Le coût de pose est élevé et les valeurs ignifuges sont moyennes. On applique ces enduits sur des surfaces à haute température. Pour l'isolation de surfaces à température basse ou intermédiaire, les enduits de protection se posent en une seule couche.
- La *fibre ou laine minérale* est un amalgame de fibres de roche et de laitier liées ensemble au moyen d'un adhésif réfractaire. La température d'utilisation peut atteindre 982°C (1800°F). C'est un matériau incombustible à pH pratiquement neutre. Les isolants de fibre minérale sont disponibles tant sous formes rigides préformées, pour l'isolation des vaisseaux et des tuyaux, que sous forme de couverture flexible. Ils sont utilisés dans les gammes de températures intermédiaires et élevées.
- Les *isolants de fibre réfractaire* sont composés de fibres minérales ou céramiques, dont l'alumine et la silice, liées au moyen d'un produit résistant aux températures extrêmes. Ils sont fabriqués sous formes de couverture ou de brique rigide. Ce matériau résiste bien aux changements brusques de température et peut être utilisé à des températures de service élevées. Il est incombustible.

On trouve, à la table 6, une énumération des matériaux isolants les plus courants.

Systèmes d'isolation

Le propriétaire qui projette de calorifuger des appareils ou des systèmes mécaniques doit considérer l'isolation comme un système comportant trois éléments.

- Des matériaux isolants;
- des revêtements ou enduits de protection;
- des accessoires servant à fixer, à renforcer, à supporter, à obturer ou à calfeutrer les joints de l'isolant et du revêtement ou enduit de protection.

Ces trois éléments doivent être compatibles afin d'assurer la cohésion du système d'isolation.

Revêtements et enduits de protection

Comme on l'a vu dans les notions de base, le rendement et la vie utile des isolants sont fonction des moyens prévus pour les protéger contre l'humidité et les dommages physiques ou chimiques. Dans la sélection des matériaux de chemisage et des enduits de protection, il faut tenir compte des particularités des installations, comme les conditions mécaniques, chimiques, thermiques et hygrométriques, autant que des facteurs de coût et d'apparence.

Les revêtements de protection se partagent en six catégories, selon la fonction.

Écrans

La fonction principale des écrans est d'empêcher la pénétration de l'eau, l'eau atténuant considérablement les qualités isolantes des matériaux. Ces écrans peuvent être constitués d'une enveloppe métallique ou plastique ou d'un enduit de mastic hydrofuge (table 7). Les feuilles à recouvrement doivent se chevaucher suffisamment pour empêcher toute pénétration d'eau. Pour la confection des enveloppes, il faut éviter d'utiliser des matériaux plastiques ayant une faible résistance aux rayons ultraviolets, à moins de prévoir des mesures de protection adéquates.

Coupe-vapeur

Les coupe-vapeur sont conçus pour retarder le passage de la vapeur d'eau de l'atmosphère jusqu'à la surface de l'isolant (table 8). Les joints et surfaces de chevauchement doivent être scellés au moyen d'un adhésif ou d'un bouche-pores résistant à la vapeur. À la table 8, on trouve des informations détaillées relativement aux caractéristiques des divers coupe-vapeur.

Les coupe-vapeur sont disponibles sous trois formes.

- Les *enveloppes rigides*, fabriquées de plastique renforcé, d'aluminium ou d'acier inoxydable, aux dimensions exactes requises, puis scellées étanches à la vapeur.
- Les *enveloppes de type membrane*, soit, les feuilles de métal, feuilles laminées et papiers traités ou enduits, ces membranes étant généralement appliquées en usine aux matériaux isolants. (Un calorifugeage complémentaire peut être requis lorsque les conditions de température et d'humidité l'exigent.)
- Les *mastics*, dont les deux types (émulsion ou solvant) procurent un recouvrement sans joint, mais exigent un temps de séchage.

Revêtements de protection mécanique

Le chemisage métallique offre la meilleure protection contre les dommages physiques que peuvent occasionner le personnel, les appareils ou les pièces d'outillage. Dans l'évaluation du revêtement approprié, il faut aussi considérer la résistance à la compression du matériau isolant.

Revêtements retardateurs de flamme et résistants à la corrosion

Pour les endroits comportant des risques d'incendie, le choix des matériaux d'isolation et de chemisage doit être fait en considérant ceux-ci comme un ensemble mixte. La plupart des produits de chemisage et des mastics qu'on trouve sur le marché possèdent un faible indice de propagation de la flamme (moins de 25). Cet indice est habituellement publié par le fabricant.

Les produits de chemisage en métal et en plastique n'offrent pas tous la même résistance à la corrosion. Parmi les produits métalliques, ce sont ceux en acier inoxydable qui procurent la meilleure protection contre la corrosion due à l'air, aux déversements ou aux fuites. Les mastics sont aussi très résistants à l'oxydation.

Revêtements et enduits esthétiques

Divers enduits, mastics de finition, chapes isolantes et enveloppes sont employés sur les isolants aux endroits visibles, à cause, principalement, de leurs qualités esthétiques. Dans le cas des tuyaux, notamment, les enveloppes recouvrant les isolants sont enrobées d'une toile de renforcement enduite d'un mastic conférant un fini lisse. Une fois sec, le mastic devenu blanc peut être peinturé ou laissé tel quel.

Revêtements hygiéniques

La surface des revêtements et des enveloppes doit être unie afin d'empêcher les moisissures et les bactéries de s'y développer, surtout dans les installations de préparation des aliments. Dans les endroits où sont effectués des lavages à la vapeur à température élevée ou à l'eau à haute pression, il faut prévoir des enveloppes à indice élevé de résistance aux efforts mécaniques et aux fluctuations de température (on utilise surtout les plastiques ou les métaux).

Propriétés des revêtements de protection

En vue de remplir les fonctions décrites précédemment, les produits de chemisage et substances mastics doivent posséder certaines qualités comme suit.

Compatibilité

Le revêtement doit être compatible tant avec le matériau isolant qu'il doit recouvrir qu'avec les éléments du milieu ambiant, que ce soit des produits chimiques, un atmosphère salin ou un éclairage aux rayons ultraviolets ou infrarouges.

Résistance aux mouvements internes et externes

La capacité de résistance aux mouvements est un élément important lorsque l'isolant recouvert sera sujet aux contractions et aux dilatations thermiques (par exemple, la rétraction des isolants utilisés dans un milieu à haute température), ou à une vibration élevée.

Gamme de températures

Le revêtement doit convenir à la température qui prévaut à la surface de l'isolant.

Perméabilité à la vapeur

Pour les installations à basse température, les recouvrements doivent avoir une faible perméabilité à la vapeur afin de prévenir ou, à tout le moins, retarder le passage de la vapeur atmosphérique dans l'isolant. Par contre, pour les installations à haute température, on doit utiliser un recouvrement perméable à la vapeur afin de permettre l'élimination de l'humidité contenue dans l'isolant.

Accessoires

Les *accessoires* sont des dispositifs ou matériaux remplissant au moins une des fonctions suivantes.

- Fixation de l'isolant ou de l'enveloppe;
- renforcement d'isolant pour la pose de ciments ou de mastics;
- renforcement de structures trop faibles pour supporter le poids des isolants à haute masse volumique;
- support de tuyaux, de vaisseaux ou d'isolants;
- calfeutrage et scellement;
- déflection de l'eau (rejetteau);
- compensation de dilatation et de contraction sur les tuyaux et vaisseaux.

L'installation inadéquate de ces accessoires peut créer une faiblesse dans le système d'isolation.

Fixations

Les isolants ne sont pas des éléments structuraux, et pour cette raison, ils doivent être soutenus, fixés, ancrés ou encore, maintenus à l'aide de ruban. Il faut choisir des fixations compatibles avec les matériaux d'isolation et de chemisage. Les fixations possibles sont les suivantes.

- Goujons et goupilles soudés;
- broches;
- attaches;
- feuillards métalliques;
- lattes autocollantes sur les enveloppes formant le chemisage;
- adhésifs.

La température et l'humidité ambiantes peuvent affecter le rendement des rubans et des adhésifs. Lors de la sélection de ces éléments, vérifier d'abord la perméabilité à la vapeur et les températures de service.

Armature d'isolant pour la pose de ciments ou de mastics

Que l'application ait lieu en usine ou sur chantier, il est possible d'augmenter la résistance mécanique des isolants au moyen de l'un ou l'autre des éléments suivants.

- Toiles;
- tissus en fibre de verre;
- lattes métalliques;
- filets métalliques;
- treillis métalliques.

Pour prévenir la corrosion, il faut s'assurer de la compatibilité des matériaux.

Rejetteaux

Fabriqués de métal ou de plastique, les rejetteaux protègent les isolants en faisant dévier l'eau de ruissellement.

Renforts

Les lattes et treillis métalliques peuvent être fixés aux surfaces à températures élevées, avant la pose de l'isolant.

Supports

Pour minimiser les pertes de chaleur, il est nécessaire d'isoler les points d'appui sur les supports. Les accessoires qu'on peut utiliser à cette fin sont les suivants.

- Pièces d'isolant à masse volumique élevée noyées dans la masse d'isolant pour protéger celui-ci aux points d'appui;
- étriers et sabots sur les supports de tuyaux;
- écrans métalliques de protection sur l'isolant;
- chevilles ou blocs de bois aux points d'appui.

Produits d'obturation et de calfeutrage

Des quantités de bouche-pores, de matériaux de calfeutrage et de rubans existent sur le marché pour assurer l'étanchéité à la vapeur et aux intempéries des enveloppes, des joints et des protubérances. Les produits sont disponibles dans une gamme étendue de températures et d'indices de perméabilité à la vapeur. Certains sont conçus pour utilisation avec un matériau isolant ou un produit de marque définie.

Accessoires de compensation pour la dilatation et la contraction

Les accessoires utilisés pour les joints de dilatation et de contraction sont comme suit.

- Joints à chevauchement ou à glissement;
- isolants amortisseurs et bouche-pores flexibles.

Utilisations courantes

La partie qui suit traite des modes d'utilisation types pratiqués en calorifugeage. Ces méthodes ne sont pas les seules qui existent et d'autres méthodes peuvent également être recommandées dans les cas particuliers. Par exemple, différentes épaisseurs et différents isolants peuvent nécessiter de toutes autres techniques de fixation à cause d'une contrainte de poids. De plus, la température de service est un facteur déterminant quant à la méthode d'installation qu'il convient d'employer. Les spécialistes en calorifugeage, entrepreneurs et fabricants, acceptent généralement de recommander la méthode la plus appropriée.

L'isolation des tuyaux représentant souvent la partie la plus importante du calorifugeage d'un système mécanique, la présente partie décrit aussi diverses méthodes d'installation d'isolants de tuyaux. On y trouve aussi les modes types d'isolation des réseaux de conduites, des vaisseaux et des réservoirs.

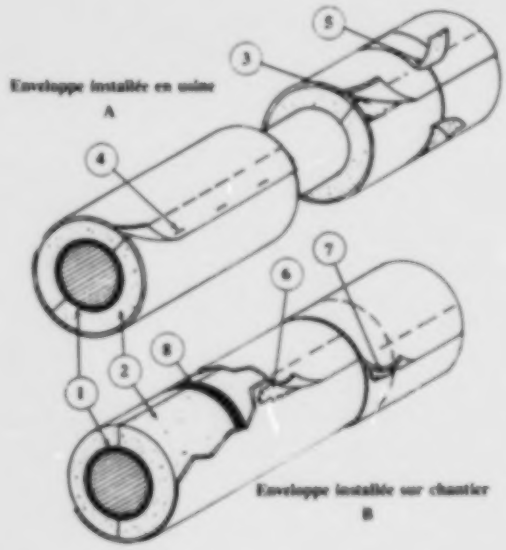
Constructions multicouches

Les constructions multicouches se définissent comme celles comportant plus d'une couche d'isolant, par opposition aux constructions en une seule couche d'épaisseur équivalente. Ce mode d'installation permet de compenser les mouvements de dilatation et de contraction dans le cas de tuyauteries à température de service élevée. Le décalage des joints dans de telles constructions permet de réduire les pertes de chaleur aux joints, créant, par le fait même, une installation à meilleur rendement thermique. La construction multicouche est indiquée lorsque le matériau isolant n'est pas disponible dans l'épaisseur requise, ou lors de l'amélioration d'un système d'isolation existant. Dans le cas de calorifugeage de tuyaux selon le mode de construction multicouche, il faut s'assurer que les dimensions fournies correspondent bien aux normes industrielles afin que les matériaux isolants s'ajustent comme il se doit.

Isolation des tuyauteries installées à l'intérieur

En général, l'isolant de fibre minérale des tuyaux est recouvert d'une membrane destinée à le protéger ou à servir de coupe-vapeur. Un tel revêtement est indiqué tant pour les températures basses qu'élevées. La membrane choisie est fonction des conditions de service (figure 7). D'habitude, il s'agit d'un laminé de papier kraft et de feuille de métal, renforcé de canevas en fibre de verre. D'autres matériaux sont aussi utilisés dans les cas où une meilleure protection ou un enduit différent est requis.

L'enveloppe peut être laissée telle quelle, ou revêtue d'une toile ou d'un lattage afin d'obtenir une surface lisse, propre et durable.



Enveloppe non-métallique installée au chantier et usine
Figure 7

1. Tuyau
2. Isolant
3. Repli longitudinal sur enveloppe installée en usine (auto-adhésif ou scellé à l'aide d'adhésif)
4. Repli longitudinal sur enveloppe installée en usine scellé au moyen de broches (broches recouvertes de mastic coupe-vapeur pour les milieux froids)
5. Bande circulaire pour joint bout à bout, auto-adhésive ou fixée sur chantier
6. Repli à chevauchement longitudinal sur enveloppe installée sur chantier, et fermé au moyen d'un adhésif ou d'un enduit obturateur
7. Repli à chevauchement scellé sur joint bout à bout (ruban adhésif facultatif sur les joints à chevauchement pour les milieux froids)
8. Fixation d'isolant constitué de fil de fer, de ruban ou de bandes et installé avant la pose de l'enveloppe

Chemisage métallique

Le chemisage métallique a pour but, généralement, de protéger l'isolant des dommages physiques (figure 8) et s'emploie surtout dans les applications extérieures. Le matériau de chemisage peut aussi être choisi en raison de sa résistance à l'attaque chimique. Ainsi, dans un milieu très corrosif, il peut être nécessaire d'exiger une enveloppe en acier inoxydable plutôt que l'enveloppe courante en aluminium.

Revêtements d'élastomères flexibles pour tuyaux

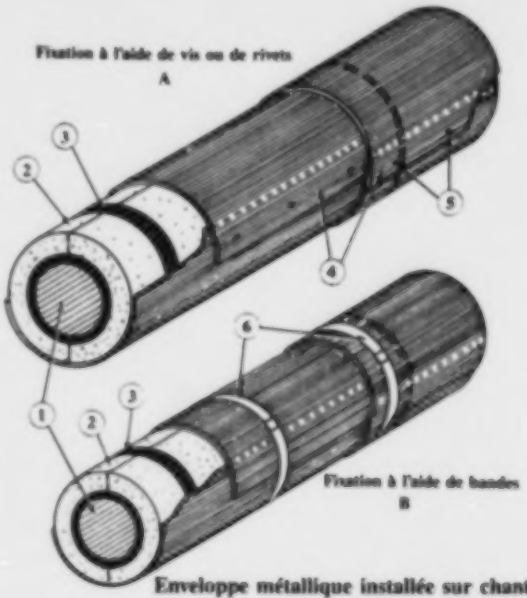
Ces revêtements sont employés sur des tuyauteries à basse température de service, tels les systèmes de climatisation d'air (figure 9). Ce produit est fabriqué sous forme de tube continu que l'on pousse par-dessus les tuyaux de petit diamètre lors de l'installation de ceux-ci. Les tubes peuvent aussi être fendus avant l'installation, les joints étant ensuite scellés au moyen d'un adhésif à contact.

Isolants de raccords

Le calorifugeage des raccords est un élément de première importance pour l'ensemble du système (figure 10). Pour les coudes, le calorifugeage est effectué, en général, à l'aide d'isolant de tuyaux coupé à angle, celui-ci étant de même matériau et de même épaisseur que l'isolant des tuyaux reliés. Les joints [illegible]ctaulic nécessitent une plus grande épaisseur d'isolant que les tuyaux adjacents, ou encore un isolant de tuyaux courant dans lequel on pratique une rainure intérieure afin de l'ajuster au raccord. Il existe pour certains raccords des isolants préformés d'installation facile. Une fois l'isolant posé, le raccord est revêtu d'une toile et d'un lattage en guise de protection et de finition.

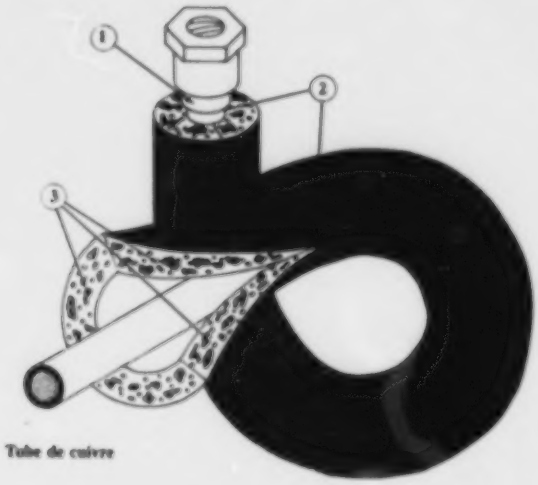
Chapes isolantes de raccords en fibre de verre ou en CPV

Les chapes isolantes de raccords en chlorure de polyvinyle (CPV) sont fréquentes dans les applications commerciales à température chaude ou froide lorsqu'une finition propre suffit et qu'un matériau assurant une plus grande protection (par exemple de la toile) n'est pas requis (figure 11). Ces isolants sont simples d'installation et disponibles en une variété de couleurs (le blanc étant le plus couramment utilisé) et en fini mât ou luisant. Les chapes de CPV servent aussi de revêtements d'isolants de tuyaux.



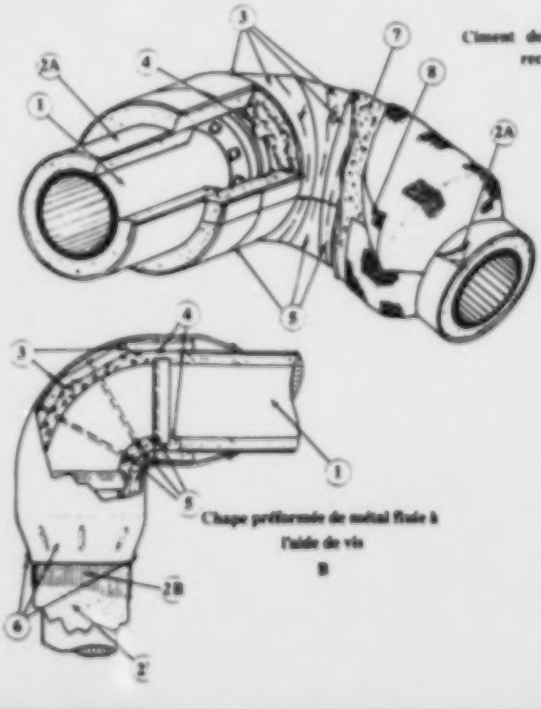
Enveloppe métallique installée sur chantier
Figure 8

1. Tuyau
2. Isolant
3. Fixation d'isolant constitué de fil de fer, de ruban ou de bandes métalliques
4. Repli à chevauchement disposé pour faire dévier l'eau (chevauchement des joints transversaux suffisant pour assurer l'imperméabilité)
5. Rivets ou vis de fixation sur replis longitudinaux
6. Bandes circulaires métalliques sur replis à chevauchement des joints bout à bout, et distribuées entre les joints bout à bout afin de bien immobiliser l'enveloppe



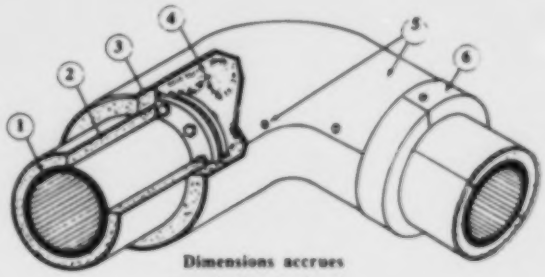
Revêtement de tuyau d'élastomère flexible
Figure 9

1. Tuyau ou tube
2. Isolant (pour faciliter une soudure au joint, l'isolant peut être temporairement écarté d'un côté ou de l'autre du raccordement puis replacé sur le joint avant d'être scellé)
3. Adhésif à contact recouvrant tous les joints sur les deux surfaces

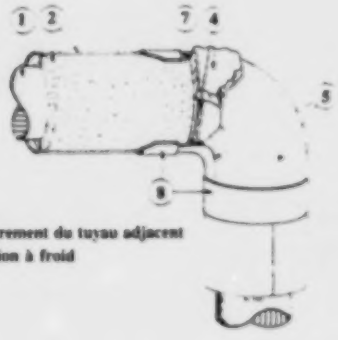


Surépaisseur d'isolant coupé à angle pour coude
Figure 10

1. Tuyau
2. Isolant de tuyau (en -A-, avec enveloppe non métallique installée en usine; en -B-, avec enveloppe métallique). L'enveloppe se prolonge sous l'isolant et le revêtement du coude
3. Segments biseautés de revêtement de tuyau pour un ajustement serré. (Adhésif entre les segments sur isolant préfabriqué ou lorsque requis)
4. Fourrure de fibre de verre (Facultative – utilisée comme support lorsque les pièces biseautées ne sont pas des chapes préfabriquées ou formes de matières autoportantes)
5. Fils de fer ou bandes circulaires (non requis avec chape préfabriquée)
6. Chape de coude métallique préformée et fixée au moyen de vis.
7. Mastic de finition permettant d'obtenir une surface unie.
8. Toile fixée au moyen d'un adhésif à la surface du mastic d'isolation ou de finition



Dimensions accrues
– application à chaud
A



À l'égalité du recouvrement du tuyau adjacent
– application à froid

Système d'isolation de coude en fibre de verre/CPV
Figure 11

1. Tuyau
2. Isolant de tuyau (montré avec un chemisage installé en usine)
3. Collet d'isolant surépais pour tuyau
4. Couverture enveloppante de fibre de verre ou isolant bi-seauté autour du coude
5. Chape de raccord en CPV: A: Joint riveté B: Joint scellé au moyen d'un adhésif ou d'un ruban
6. Bouchon de réduction
7. Adhésif coupe-vapeur sur tous les joints et replis à chevauchement – application à froid
8. Ruban coupe-vapeur

Isolants de brides et de raccords en conduite

Les brides et raccords situés sur les conduites sont difficiles à isoler avec les produits de dimensions courantes. Dans ces cas, il est préférable d'envelopper la pièce dans une couverture isolante et de terminer par une toile enduite d'un matériel calorifuge ou d'une chape isolante en CPV (figure 12).

Isolants démontables et réutilisables

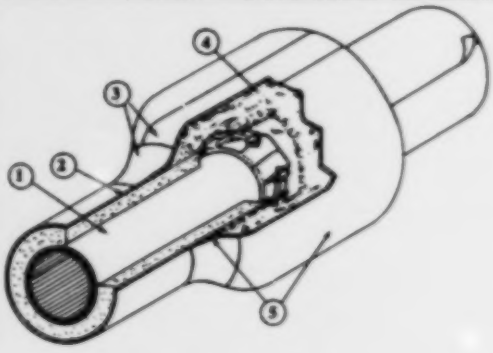
Les isolants de ce genre sont utiles dans le cas de robinetterie nécessitant de fréquents travaux d'entretien. Ces pièces sont confectionnés d'un revêtement de tissu renfermant un matériau isolant et munies d'un mécanisme de fixation comme montré (figure 13).

Isolants de conduites

Les conduites peuvent être isolées au moyen de couvertures flexibles ou de panneaux rigides (figure 14). Les panneaux rigides sont plus résistants au choc, mais peuvent être plus difficiles à installer, du fait du taillage et de l'ajustage requis autour des raccords, des joints et de changements de direction.

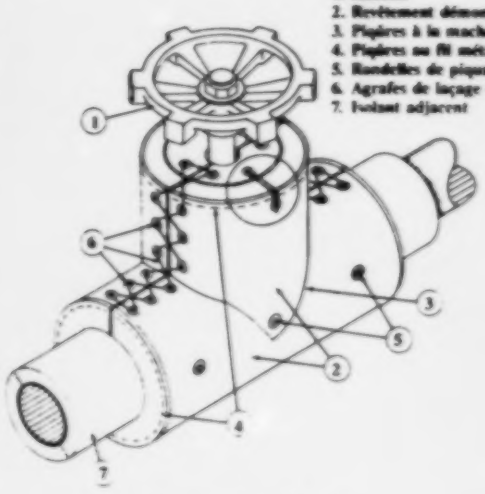
Dans le cas des systèmes à air froid ou à air froid et chaud où un coupe-vapeur est requis, il faut prendre soin de sceller tous les joints à l'adhésif pour empêcher toute interruption du coupe-vapeur. Toute perforation de la garniture du coupe-vapeur doit être scellée pour préserver son étanchéité.

Les panneaux isolants rigides à enveloppe fixée en usine doivent être scellés aux joints et aux coins à l'aide de ruban adhésif coupe-vapeur. Les couvertures isolantes flexibles peuvent être disponibles avec des joints à recouvrement, celles-ci pouvant être scellées au joint à l'aide d'un ruban adhésif coupe-vapeur.



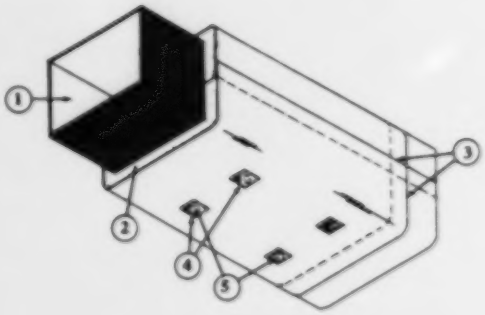
Système d'isolation pour raccordement ou joint droit à bride en fibre de verre/CPV
Figure 12

1. Tuyau
2. Isolant de tuyau (enveloppe installée en usine)
3. Ruban coupe-vapeur le long des joints longitudinaux et autour des extrémités
4. Fourrure de fibre de verre enrobant le joint
5. Revêtement de CPV se prolongeant par-dessus l'isolant de tuyau



1. Robinet
2. Revêtement démontable
3. Piqûres à la machine
4. Piqûres au fil métallique aux extrémités
5. Rondelles de piquage
6. Agrafes de laçage et lanière de fil métallique
7. Isolant adjacent

Isolant démontable et réutilisable
Figure 13



Couverture de fibre flexible pour conduits intérieurs rectangulaires
Figure 14

1. Conduit rectangulaire
2. Garniture isolante (montrée avec un recouvrement coupe-vapeur appliqué en usine)
3. Chevauchement exécuté en usine (scellé à l'aide d'un produit adhésif et/ou collier de scellement ou un ruban coupe-vapeur)
4. Ruban coupe-vapeur recouvrant les déchirures ou trous du recouvrement coupe-vapeur (facultatif lors des applications à chaud)
5. Attaches mécaniques fixant l'isolant sous le conduit sur une largeur de 24 po. (éloigné d'au plus 3 po. des joints d'about)

Doublures isolantes installées sur place

Les isolants des surfaces internes des bâtis ou des puits d'aération installés sur chantier sont fixés au moyen d'adhésif et d'attaches mécaniques, selon les dimensions de la construction et la vitesse de l'air qui y circule (figure 15). Les joints transversaux et les arêtes visibles sont recouverts d'un ruban ou d'un bouche-pores afin de maintenir l'isolant fermement en place.

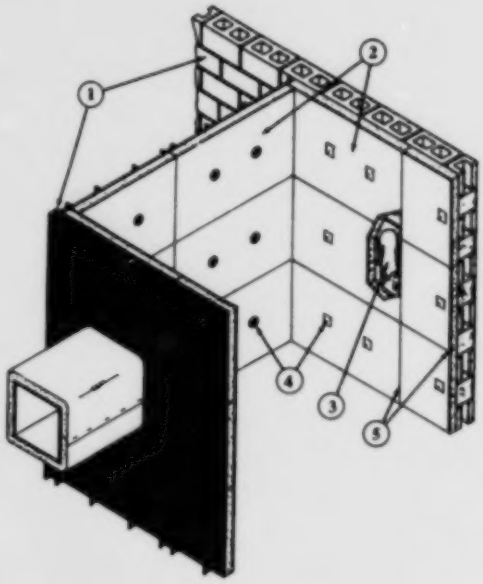
Isolants des réservoirs et des vaisseaux

Le choix de la méthode d'application varie en fonction des conditions particulières. S'il est dangereux de souder des goujons à un réservoir ou vaisseau existant (figure 16), alors l'isolant peut être fixé au moyen de feuillards.

Les isolants de vaisseaux ou de réservoirs peuvent être composés de laizes flexibles ou de panneaux rigides. Le fabricant peut recommander le matériau le mieux approprié. Les isolants rigides comme ceux à base de silicate de calcium doivent être cisaillés pour épouser la forme du réservoir, tandis que les isolants de fibre minérable peuvent être pliés à la forme requise.

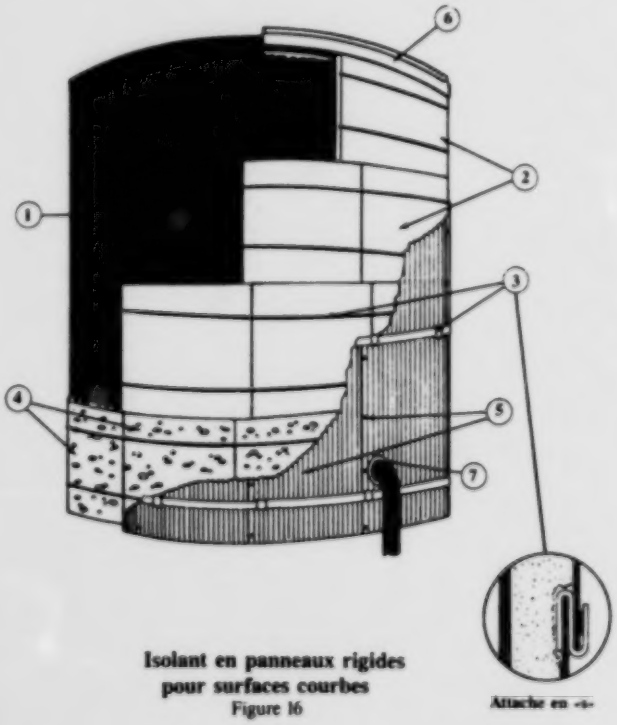
Au point de contact avec le sol, tout autour du réservoir ou du vaisseau, il faut installer un matériau isolant à faible indice d'absorptivité afin de réprimer l'humidité. Les isolants de verre cellulaire sont les plus fréquemment utilisés.

Il est essentiel de protéger l'isolant des vaisseaux et des réservoirs extérieurs contre les intempéries. À cette fin, on emploie des feuilles d'acier ou d'aluminium fixées ensemble avec un chevauchement horizontal et vertical suffisant pour empêcher la pénétration de la pluie.



1. Bâti ou cheminée
2. Garniture ou isolant en panneaux de fibre
3. Adhésif
4. Attaches mécaniques
5. Scelle joint

Garniture installée sur chantier
Figure 15



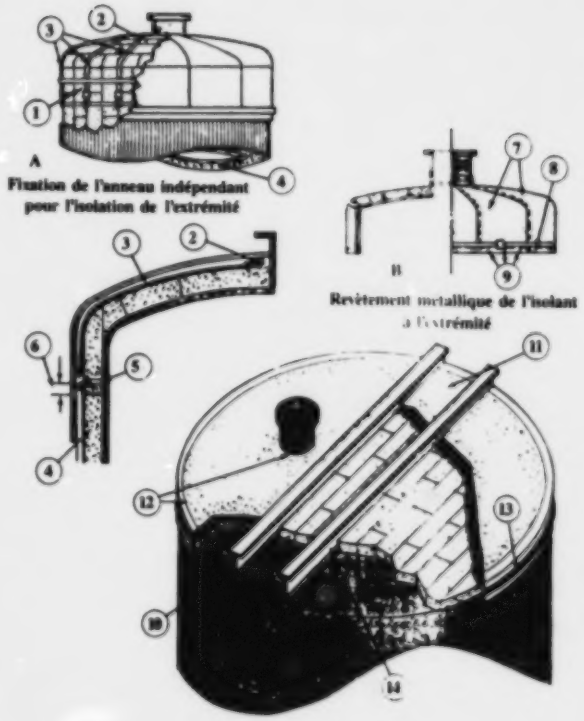
1. Paroi
2. Panneau isolant, cisaillé ou taillé en biais pour épouser la courbure du vaisseau
3. Bandes d'acier inoxydable et attaches en «S» comme requis. Une autre méthode de fixation consiste à accrocher les panneaux à des attaches mécaniques
4. À la base, isolant en verre cellulaire aux endroits exposés aux éclaboussures, aux lavages ou aux inondations où il peut se produire une absorption d'eau (Facultatif)
5. Enveloppe fabriquée de feuilles de métal ondulé ou uni et fixée avec des rivets ou au moyen de vis
6. Rejetteau au sommet
7. Rejetteau ou calfeutrage aux raccords (Facultatif)

Isolant en panneaux rigides pour surfaces courbes
Figure 16

Isolants des dessus de vaisseaux et de réservoirs

De grandes pertes de chaleur surviennent au sommet des vaisseaux. Conséquemment, le calorifugeage des sommets de réservoirs et de vaisseaux (figure 17) est-il des plus importants pour le maintien des températures de service au sein d'un procédé. De plus, il est impératif de protéger les isolants recouvrant ces secteurs des réservoirs et des vaisseaux comme mesure de prévention des pertes de chaleur.

Outre les moyens de calorifugeage décrits ci-dessus, les surfaces planes des réservoirs sont généralement isolées par les entrepreneurs en revêtement de toiture. La nature du dispositif d'isolation est critique et le travail doit être confié uniquement à des entrepreneurs experts en la matière.



Confection d'isolant, de fixation et de revêtement de l'extrémité d'un réservoir
Figure 17

1. Isolant à l'extrémité (bloc rigide montré)
2. Anneau de câble indépendant
3. Bandes espacées à 12 po c. à c.
4. Isolant de la coque
5. Anneau de support de l'isolant de l'extrémité (non requis sur les vaisseaux horizontaux)
6. Joint de 25 mm entre l'anneau de support et l'isolant de la coque fourré à l'isolant de fibre minérale ou fibre de verre
7. Segments coniques à chevauchement de feuilles de métal épousant la surface de l'isolant de l'extrémité
8. Bande à la base du revêtement de l'isolant de l'extrémité
9. Vis à tous les 75 mm po le long des joints horizontaux et verticaux
10. Isolant de haute densité pour allée de circulation
11. Matériaux de recouvrement de toiture ou mastic renforcé
12. Calfeutrage et couvre-joint tel que requis
13. Bande pour fixer l'encadrement
14. Poutres en I utilisées pour la rigidité du couvercle

Par «Possibilités de gestion de l'énergie», on entend des initiatives qui peuvent être prises afin d'utiliser l'énergie avec sagesse de façon à réaliser des économies. Dans ce chapitre, plusieurs exemples de possibilités sont donnés sous les rubriques Possibilités de maintenance, Possibilités d'amélioration de coût modique et Possibilités de rénovation. Elles sont présentées à l'aide d'exemples démontrant les économies d'énergie réalisables. Il ne s'agit pas d'une liste exhaustive des applications de calorifugeage; le but est de proposer des idées aux responsables de la gestion, de l'exploitation et de la maintenance, grâce auxquelles ils pourront identifier d'autres possibilités à mettre en pratique dans une installation donnée. Il faut tenir compte des autres modules de la présente série pour identifier les possibilités de gestion de l'énergie applicables à d'autres types d'équipements et de systèmes.

La présentation trace d'abord brièvement les grandes lignes de diverses possibilités de gestion de l'énergie, celles-ci étant ensuite illustrées au moyen d'exemples concrets ou de textes explicatifs.

Possibilités de maintenance

Mises en oeuvre, les possibililités de maintenance sont des initiatives de gestion de l'énergie *répétées de façon périodique et jamais moins d'une fois par année*. Dans ce groupe, on trouve les possibilités types qui suivent.

1. Réparation des isolants endommagés;
2. Réparation des revêtements et enduits de protection endommagés;
3. Maintien de conditions sécuritaires.

Exemples concrets de maintenance

1. Réparation des isolants endommagés

Au cours de l'analyse au passage d'une installation, il fut constaté que l'isolant d'une tuyauterie de NPS 4 avait été endommagé et enlevé sur une longueur de 10 m. Ce réseau servait au transport d'un fluide de procédé à haute température, soit, 121°C, dans un milieu à température ambiante de 18°C. L'isolant d'origine était un isolant de fibre minérale de 75 mm d'épaisseur.

Une analyse de diagnostic a permit d'établir la perte de chaleur de ce tronçon, avant et après l'enlèvement de l'isolant endommagé, de façon à comparer les pertes dans les deux cas.

À la table 1, on peut voir, qu'à 121°C, la perte de chaleur d'un tuyau de NPS 4 est d'environ 530 Wh/m.

À la table 3, on constate que la perte de chaleur pour un même tuyau recouvert de 76 mm d'isolant de fibre minérale est de 28 Wh/m.

Les tables 1 et 3 ci-jointes sont marquées aux points correspondants à ces données.

Après quoi, il s'agit de calculer la réduction de perte de chaleur pour une longueur de 10 m.

Réduction de perte de chaleur à l'heure = 10 x (530 − 28)

= 10 x 502

= 5 020 Wh/h

Si la canalisation en question est en service 8 760 h/an, on peut déterminer la réduction des pertes de chaleur comme suit.

Réduction annuelle de perte de chaleur = Réduction de perte de chaleur à l'heure x heures de service par an

= 5 020 x 8 760

= 43 975 200 Wh/an ou 43 975,2 kWh/an

Si le coût de l'électricité utilisée pour chauffer le fluide est de 0,05$/kWh, on peut alors calculer les économies réalisables par la réduction des pertes de chaleur.

Économies annuelles en dollars = Réduction annuelle des pertes de chaleur x coût unitaire de l'énergie

$$= \frac{43\ 975\ 200\ \text{kWh/an}}{1\ 000} \times 0{,}05\$/\text{kWh}$$

= 2 198,76 $/an

Le coût d'achat et d'installation de 10 m d'isolant de fibre de verre d'une épaisseur de 76 mm s'établissant à 500,00$, la période de rentabilité peut être calculée comme suit.

$$\text{Période de rentablité} = \frac{500{,}00\$}{2\ 198{,}76\$}$$

= 0,23 an (3 mois)

Un autre avantage du calorifugeage consiste en l'élimination des risques de brûlures aux employés. Sans isolant, la température à la surface du tuyau serait d'environ 121°C, alors qu'avec un isolant, la température chuterait à environ 23°C.

Bien que le remplacement de 10 m d'isolant représente un déboursé, ce genre d'initiative appartient aux «Possibilités de maintenance» du fait qu'il doit faire partie du programme de maintenance préventive de toute installation.

Pour faciliter les calculs, la feuille de travail 1-2 a été remplie à partir des données susmentionnées.

2. Réparation des revêtements et des enduits de protection endommagés

Un bris du revêtement ou de l'enduit peut découvrir l'isolant et le rendre vulnérable aux dommages par l'eau ou le soleil, et à la détérioration. Ces dommages sont de nature à réduire l'efficacité de l'isolant et donc, à augmenter les pertes de chaleur et les coûts d'opération.

3. Maintien de conditions sécuritaires

Comme indiqué au chapitre des «Notions de base», le Code national du bâtiment stipule que «les tuyaux accessibles au toucher doivent être isolés de façon à ce que la température en surface n'excède pas 70°C». Au-dessus de cette limite de température, des risques de brûlures graves existent. Un coup d'oeil à la table 3 permet de constater que les températures de surface des isolants sont toujours bien en dessous de ce point.

Possibilités d'amélioration à coût modique

Les possibilités d'amélioration à coût modique sont des initiatives de gestion de l'énergie *réalisées une seule fois et dont le coût n'est pas considéré comme important*. Les possibilités classées généralement dans ce groupe englobent:

1. Isolation des tuyaux non isolés;
2. isolation des vaisseaux non isolés;
3. ajout d'isolant pour atteindre les épaisseurs recommandées.

Exemples concrets d'améliorations à coût modique

1. Isolation des tuyaux non isolés

L'analyse au passage d'une installation permit de trouver que l'isolant n'avait pas été posé lors de l'installation d'un branchement de canalisation de vapeur de type NPS 2 d'une longueur de 20 m, alimentant un nouvel aérotherme à vapeur à 121°C. Il fut décidé de vérifier les économies d'énergie et de dollars que rapporterait l'isolation de la canalisation à l'aide d'un isolant de verre cellulaire de l'épaisseur recommandée. Le nombres d'heures de service de ce branchement était de 2 880 par année.

La table 3 indique que, dans un tel cas, l'épaisseur recommandée pour un isolant de verre cellulaire est de 64 mm, et qu'avec un tel isolant, la perte de chaleur diminue à 34 Wh/m par heure de service. À partir de la table 1, on constate que la perte de chaleur pour un même tuyau sans isolant est de 290 Wh/m par heure de service.

À l'aide de la feuille de travail 1-2, on peut déterminer que la réduction annuelle de perte de chaleur découlant de l'isolation est de 14 745 600 Wh/an, ou 14 745,6 kWh/an, ou 53 084,16 MJ/an.

Dans cet exemple, la vapeur est produite au moyen d'une chaudière au gaz naturel fonctionnant à un rendement de 75%. Le coût du gaz est de 0,21$/m^3.

L'annexe C permet d'établir que le pouvoir calorifique du gaz naturel est de 37,2 MJ/m^3.

$$\text{Économies en dollars} = \frac{53\,084{,}16 \times 0{,}21}{37{,}2 \times 0{,}75}$$

$$= 399{,}56\$/\text{an}$$

Le coût d'achat et d'installation de l'isolant est estimé à 400$.

$$\text{Période de rentabilité} = \frac{400{,}00\$}{399{,}52\$}$$

$$= 1{,}0 \text{ an}$$

2. Calorifugeage des vaisseaux non isolés

L'analyse au passage d'une installation fit ressortir qu'un réservoir de 2 m de longueur, de 1 m de largeur et de 1 m de profondeur avec un couvercle à charnière n'était pas isolé, en dépit du fait que le réservoir contenait un fluide maintenu à 177°C durant 8 760 heures par an.

L'analyse de diagnostic qui suivit permit d'établir les économies d'énergie et de dollars possibles grâce au calorifugeage du vaisseau au moyen d'un isolant de fibre minérale de l'épaisseur recommandée.

$$\text{Surface du réservoir} = A_{\text{Sommet}} + A_{\text{Côtés}} + A_{\text{Base}}$$

$$= (2 \times 1) + [(2 \times 1) + (2 \times 1) + (1 \times 1) + (1 \times 1)] \times (2 \times 1)$$

$$= 2 + 6 + 2$$

$$= 10 \text{ m}^2$$

La table 3 nous montre que l'épaisseur d'isolant recommandée pour une surface plane à 177°C est de 102 mm, et que la perte de chaleur résultante est de 63 Wh/m^2 par heure de service. La feuille de travail 1-3 permet d'établir que, grâce au calorifugeage, la réduction annuelle de perte de chaleur serait de 551 880 kWh/an.

Sachant que le fluide est chauffé au moyen d'éléments électriques immergés et que le coût de l'électricité est de 0,05$/kWh, on peut alors calculer les économies en dollars réalisables en une année.

$$\text{Économies annuelles en dollars} = 551\,880 \times 0{,}05\$$$

$$= 27\,594\$$$

Le coût estimé pour l'achat et l'installation d'un isolant de fibre minérale de 100 mm d'épaisseur sur le dessus, sur les côtés et sur la base du réservoir sont de 3 600$.

$$\text{Période de rentabilité} = \frac{3\,600\$}{27\,594\$}$$

$$= 0{,}13 \text{ an (1 1/2 mois)}$$

À remarquer que la température de la surface de l'isolant serait de 25°C, ce qui satisfait les normes déjà établies au Code national du bâtiment.

3. Ajout d'isolant pour atteindre l'épaisseur recommandée

Dans une installation, l'analyse au passage révéla qu'un vaisseau de 2 m de diamètre et d'une surface de 25 m^2 renfermant du liquide à 65°C ne comportait qu'un isolant de fibre minérale de 25 mm d'épaisseur. Ce vaisseau était en service 8 400 heures par an, et était chauffé à l'électricité à un coût de 0,05$/kWh.

En consultant la table 3, on note que l'épaisseur recommandée dans un cas semblable est de 51 mm et que la perte de chaleur résultante est de 32 Wh/m^2. L'analyse de diagnostic subséquente permit de déterminer les économies en énergie et en dollars réalisables en ajoutant de l'isolant jusqu'à une épaisseur de 51 mm, tel que recommandé.

Les données fournies par le fabricant indiquent que, dans ces conditions, avec un isolant de fibre minérale de 25 mm, les pertes de chaleur sont de 105 Wh/m^2 de surface du réservoir.

La feuille de travail 1-3 est utilisée deux fois. D'abord pour calculer la réduction de perte de chaleur par la comparaison d'un vaisseau sans isolant à un vaisseau comportant 25 mm d'isolant, et la deuxième fois, pour établir la réduction de perte de chaleur en comparant un vaisseau sans isolant à un vaisseau muni de 51 mm d'isolant.

Les économies d'énergie réalisables par l'ajout de 26 mm d'isolant, ce qui porterait l'épaisseur totale à 51 mm se calculent comme suit.

$$\text{Économies d'énergie} = \text{Économies avec 51 mm} - \text{Économies avec 25 mm}$$

$$= 99\,300\,000 - 81\,837\,000$$

$$= 17\,463\,000 \text{ Wh/an}$$

$$\text{ou} = 17\,463 \text{ kWh/an}$$

$$\text{Économies en dollars} = 17\,463 \times 0{,}05\$$$

$$= 873{,}15\$$$

Le coût d'achat et d'installation de l'isolant additionel est évalué à 3 500$.

$$\text{Période de rentabilité} = \frac{3\,500\$}{873{,}15\$}$$

$$= 4{,}01 \text{ ans}$$

Possibilités de rénovation

Les possibilités de rénovation désignent des initiatives qui *ne sont effectuées qu'une fois et dont le coût est important*. Plusieurs des possibilités de cette catégorie requièrent des analyses par des experts, et ne peuvent donc pas être traitées dans ces pages. Les possibilités qui suivent sont typiques des initiatives de rénovation.

1. Amélioration de l'isolation existante;
2. Vérification de l'épaisseur économique;
3. Amélioration tenant compte d'un budget restreint.

Exemples concrets de possibilités de rénovation

1. Amélioration de l'isolation existante

Une analyse au passage fit réaliser qu'un collecteur de vapeur NPS 6, fonctionnant 8 760 heures par année à 288°C comportait un isolant de verre cellulaire. Il s'agissait d'une conduite de vapeur de 100 mètres de longueur.

À la lecture de la table 3, on peut voir que la perte de chaleur pour une telle canalisation munie d'isolant de verre cellulaire est de 145 Wh/m. De plus, on remarque qu'en remplaçant l'isolant existant par de la fibre minérale, la perte de chaleur chute alors à 99 Wh/m, ceci, avec une même d'épaisseur d'isolant.

Le calcul des économies annuelles d'énergie réalisables grâce à un isolant de fibre minérale s'effectue comme suit.

Économies annuelles d'énergie = (Perte avec verre cellulaire − perte avec fibre minérale) x Longueur x Heures de service/an

= (145 − 99) x 100 x 8 760

= 40 296 000 Wh/an

ou = 40 296 000 x 3,6

= 145 065 600 kJ/an

ou = 145 065,6 MJ/an

La vapeur était produite dans une chaudière fonctionnant à un rendement de 76% et consommant du gaz naturel au coût de 0,21$/m^3; en dollars, les économies possibles sont donc:

$$\text{Économies en dollars} = \frac{145\,065{,}6 \times 0{,}21\$}{37{,}2 \times 0{,}76}$$

= 1 077,52$/an

Le coût prévu de remplacement de l'isolant de verre cellulaire par un isolant de fibre de verre minérale était de 11 000$.

$$\text{Période de rentabilité} = \frac{11\,000\$}{1\,077{,}52\$}$$

= 10,21 ans

Dans ce cas, on voit que le remplacement n'est pas justifié compte tenu du rendement possible. Cependant, si l'isolant existant avait comporté une épaisseur moindre que celle recommandée, la perte de chaleur aurait été plus élevée, et il en aurait été de même pour les économies possibles. Pour ce calcul, il faudrait utiliser les données fournies par le fabricant d'isolant.

2. Vérification de l'épaisseur économique

Comme mentionné au chapitre des «Notions de base» du présent module, il convient, en certains cas, de comparer l'épaisseur d'isolant économique à l'épaisseur recommandée afin d'établir les économies réalisables.

3. Amélioration tenant compte d'un budget restreint

Au cours d'analyse au passage en vue de l'acquisition d'une installation, on remarqua que bon nombre des branchements de vapeur n'étaient pas isolés. Les dimensions des canalisations variaient de NPS 1 à NPS 6, la longueur équivalente correspondant à 350 m de tuyaux de type NPS 4. La température de vapeur était de 121°C et les heures

de service s'élevaient à 4 400 par an. La chaudière à basse pression utilisée pour la génération de vapeur fonctionnait à une efficacité de 77%, et le coût du gaz naturel d'alimentation était de 0,21$/m^3.

Un examen de la table 3 indique que, pour une tuyauterie de NPS 4 à 121°C, l'épaisseur d'isolant recommandée est de 76 mm, avec une perte de chaleur résiduelle de 28 Wh/m par heure de service. À la table 1, on voit qu'à 121°C, un tuyau sans isolant occasionne une perte de chaleur de 530 Wh/m par heure de service.

À l'aide de la feuille de travail 1-2, on peut établir qu'avec un isolant de fibre de verre de l'épaisseur recommandée, les perte de chaleur de la tuyauterie seraient réduites de 2 783 088 MJ/an.

$$\text{Économies en dollars} = \frac{2\ 783\ 088 \times 0{,}21\$}{37{,}2 \times 0{,}77}$$

$$= 20\ 404\$/\text{an}$$

L'achat et l'installation de 76 mm d'isolant coûterait 10 000$. La période de rentabilité est donc:

$$\text{Période de rentabilité} = \frac{10\ 000\$}{20\ 404\$}$$

$$= 0{,}49 \text{ an (6 mois)}$$

Cependant, à cause de contraintes financières, la direction n'était pas en mesure, à ce moment-là, d'investir une telle somme.

Par suite de ces restrictions budgétaires, de nouveaux calculs furent entrepris, sur la base d'un isolant de fibre minérale de 25 mm. Les données publiées par le fabricant stipulent que, dans de telles conditions, la perte de chaleur s'élève à 200 Wh/m par heure de service. Au moyen, de nouveau, de la feuille de travail 1-2, on peut donc déterminer qu'avec un isolant de fibre minérale de 25 mm , la réduction de perte de chaleur serait de 1 829 520 MJ/an.

En dollars, les économies se traduisent comme suit.

$$\text{Économies en dollars} = \frac{1\ 829\ 520 \times 0{,}21\$}{37{,}2 \times 0{,}77}$$

$$= 13\ 413\$/\text{an}$$

Le coût installé d'un isolant de fibre minérale de 25 mm serait de 8 000$.

$$\text{Période de rentabilité} = \frac{8\ 000\$}{13\ 423\$}$$

$$= 0{,}6 \text{ an}$$

Bien que le rendement, dans le cas d'un isolant de 25 mm, ne soit pas aussi élevé que celui d'un isolant de 76 mm, la direction était disposée à investir une somme de 8 000$, ce qui constitue donc une amélioration tenant compte d'un budget restreint.

Perte de chaleur de tuyauterie

Feuille de travail 1-2

MAINTENANCE - EXEMPLE 1

Entreprise: ABC Co. Date: _____

Endroit: ANYTOWN Par: MBEL

Diam. de tuyau (NPS) 4 Longueur de tuyau 10 m

Température de service 121 °C Heures de service par an 8760 h

Type d'isolant proposé FIBRE MINÉRALE Épaisseur d'isolant proposé 76 mm

	Sans isolant	Insolé
Perte de chaleur par mètre	530 Wh/m·h (table 1)	28 Wh/m·h (table 3)
Perte de chaleur/h = Perte de chaleur/m·h x longueur	530 x 10	28 x 10
	5300 Wh/h	280 Wh/h
Perte annuelle de chaleur = Perte de chaleur/h x h/an	5300 x 8760	280 x 8760
	46 428 000 Wh/an (1)	2 452 800 Wh/an (2)

Réduction de perte de chaleur par suite de l'ajout d'isolant

= (1) - (2)

= 46 428 000 - 2 452 800

= 43 975 200 Wh/an

ou 43 975 200 Wh/an x 3.6 kJ/Wh

= 158 310 720 kJ/an

Calculer ensuite les économies en dollars à l'aide du coût unitaire d'énergie. Veiller à ce que les unités soient compatibles.

Perte de chaleur de tuyauterie

Feuille de travail 1-2

COÛT MODIQUE - EXEMPLE 1

Entreprise: ABC Co. Date: _____

Endroit: ANYTOWN Par: MBEL

Diam. de tuyau (NPS) 2 Longueur de tuyau 20 m

Température de service 121 °C Heures de service par an 2880 h

Type d'isolant proposé VERRE CELLULAIRE Épaisseur d'isolant proposé 64 mm

	Sans isolant	Insolé
Perte de chaleur par mètre	290 Wh/m·h (table 1)	35 Wh/m·h (table 3)

Perte de chaleur/h = Perte de chaleur/m·h x longueur

290	x	20	35	x	20
5800		Wh/h	700		Wh/h

Perte annuelle de chaleur = Perte de chaleur/h x h/an

5800	x	2880	700	x	2880
16 704 000		Wh/an (1)	2 016 000		Wh/an (2)

Réduction de perte de chaleur par suite de l'ajout d'isolant

= (1) – (2)

= 16 704 000 – 2 016 000

= 14 688 000 Wh/an

ou 14 688 000 Wh/an x 3.6 kJ/Wh

= 52 876 800 kJ/an

Calculer ensuite les économies en dollars à l'aide du coût unitaire d'énergie. Veiller à ce que les unités soient compatibles.

Perte de chaleur de tuyauterie

Feuille de travail 1-3

COÛT MODIQUE - EXEMPLE 2

Entreprise: ABC Co. Date: _____

Endroit: ANYTOWN Par: MBEL

Appareil _____ Heures de service par an 8760 h

Surface 10 m² Type d'isolant proposé FIBRE MINÉRALE

Température de service 177 °C Épaisseur d'isolant proposé 102 mm

Sans isolation	Isolé
Perte de chaleur = 2800 Wh/m² (table 1)	63 Wh/m² (table 3)
Perte de chaleur/h = Surface x Perte de chaleur	
10 x 2800	10 x 63
28 000 Wh/h	630 Wh/h
Perte annuelle de chaleur = Perte de chaleur/h x h/an	
28000 x 8760	630 x 8760
245 280 000 Wh/an (1)	5 518 800 Wh/an (2)

Réduction de perte de chaleur par suite de l'ajout d'isolant

= (1) - (2)

= 245 280 000 - 5518 800

= 239 761 200 Wh/an

ou 239 761 200 Wh/an x 3.6 kJ/W

= 863 140 320 kJ/an

Calculer ensuite les économies en dollars à l'aide du coût unitaire d'énergie. Veiller à ce que les unités soient compatibles.

Perte de chaleur de tuyauterie

Feuille de travail 1-3

COÛT MODIQUE - EXEMPLE 3

Entreprise: ABC Co. Date: _____

Endroit: ANYTOWN Par: MBEL

Appareil _____ Heures de service par an 8400 h

Surface 25 m² Type d'isolant proposé FIBRE MINÉRALE

Température de service 65 °C Épaisseur d'isolant proposé 51 mm

	Sans isolation	Isolé
Perte de chaleur =	505 Wh/m² (table 1)	32 Wh/m² (table 3)
Perte de chaleur/h = Surface x Perte de chaleur		
	25 x 505	25 x 32
	12625 Wh/h	800 Wh/h
Perte annuelle de chaleur = Perte de chaleur/h x h/an		
	12625 x 8400	800 x 8400
	106 050 000 Wh/an (1)	6 720 000 Wh/an (2)

Réduction de perte de chaleur par suite de l'ajout d'isolant

= (1) − (2)

= 106 050 000 − 6 720 000

= 99 300 000 Wh/an

ou 99 300 000 Wh/an x 3.6 kJ/W

= 357 588 000 kJ/an

Calculer ensuite les économies en dollars à l'aide du coût unitaire d'énergie. Veiller à ce que les unités soient compatibles.

Perte de chaleur de tuyauterie

Feuille de travail 1-3

COÛT MODIQUE - EXEMPLE 3

Entreprise: ABC CO. Date: _____

Endroit: ANYTOWN Par: MBEL

Appareil _____ Heures de service par an 8400 h

Surface 25 m² Type d'isolant proposé FIBRE MINÉRALE

Température de service 65 °C Épaisseur d'isolant proposé 25 mm

Sans isolation	Isolé
Perte de chaleur = 504.7 Wh/m² (table 1)	115 Wh/m² (table 3)
Perte de chaleur/h = Surface x Perte de chaleur	
25 x 504.7	25 x 115
12617.5 Wh/h	2875 Wh/h
Perte annuelle de chaleur = Perte de chaleur/h x h/an	
12617.5 x 8400	2875 x 8400
105 987 000 Wh/an (1)	21 150 000 Wh/an (2)

Réduction de perte de chaleur par suite de l'ajout d'isolant

= (1) − (2)

= 105 987 000 − 21 150 000

= 81 837 000 Wh/an

ou 81 837 000 Wh/an x 3.6 kJ/W

= 294 613 200 kJ/an

Calculer ensuite les économies en dollars à l'aide du coût unitaire d'énergie. Veiller à ce que les unités soient compatibles.

Perte de chaleur de tuyauterie
Feuille de travail 1-2

RÉNOVATION EXEMPLE 3

Entreprise: ABC Co. Date: _____

Endroit: ANYTOWN Par: MBEL

Diam. de tuyau (NPS) 4 Longueur de tuyau 350 m

Température de service 121 °C Heures de service par an 4400 h

Type d'isolant proposé FIBRE MINÉRALE Épaisseur d'isolant proposé 25 mm

	Sans isolant	Insolé
Perte de chaleur par mètre	530 Wh/m·h (table 1)	200 Wh/m·h (table 3)

Perte de chaleur/h = Perte de chaleur/m·h x longueur

530 x 350	200 x 350
185 500 Wh/h	70 000 Wh/h

Perte annuelle de chaleur = Perte de chaleur/h x h/an

185 500 x 4400	70 000 x 4400
816 200 000 Wh/an (1)	308 000 000 Wh/an (2)

Réduction de perte de chaleur par suite de l'ajout d'isolant

= (1) − (2)

= 816 200 000 − 308 000 000

= 508 200 000 Wh/an

ou 508 200 000 Wh/an x 3.6 kJ/Wh

= 1 829 520 000 kJ/an

Calculer ensuite les économies en dollars à l'aide du coût unitaire d'énergie. Veiller à ce que les unités soient compatibles.

Perte de chaleur de tuyauterie

Feuille de travail 1-2

RÉNOVATION - EXEMPLE 3

Entreprise: ABC Co. Date: _____

Endroit: ANYTOWN Par: MBEL

Diam. de tuyau (NPS) 4 Longueur de tuyau 350 m

Température de service 121 °C Heures de service par an 4400 h

Type d'isolant proposé FIBRE MINÉRALE Épaisseur d'isolant proposé 76 mm

	Sans isolant	Insolé
Perte de chaleur par mètre	530 Wh/m·h (table 1)	28 Wh/m·h (table 3)
Perte de chaleur/h = Perte de chaleur/m·h x longueur	530 x 350	28 x 350
	185 500 Wh/h	9800 Wh/h
Perte annuelle de chaleur = Perte de chaleur/h x h/an	185 500 x 4400	9800 x 4400
	816 200 000 Wh/an (1)	43 120 000 Wh/an (2)

Réduction de perte de chaleur par suite de l'ajout d'isolant

= (1) - (2)

= 816 200 000 - 43 120 000

= 773 080 000 Wh/an

ou 773 080 000 Wh/an x 3.6 kJ/Wh

= 2 783 088 000 kJ/an

Calculer ensuite les économies en dollars à l'aide du coût unitaire d'énergie. Veiller à ce que les unités soient compatibles.

ANNEXES

A Glossaire
B Tables
C Conversions Courrantes
D Feuilles de travail
E Épaisseur économique
F Normes relatives aux caractéristiques des matériaux de calorifugeage

GLOSSAIRE

Absorption d'eau – Accroissement du poids d'un matériau consécutivement à l'immersion dans l'eau pendant une période donnée, et exprimé en pourcentage du poids à sec.

Absorptivité – Capacité d'un matériau à tirer ou à absorber les liquides par capillarité.

Adhésif à contact – Adhésif sec au toucher, mais capable d'adhérer instantanément par contact; aussi désigné liant à contact ou adhésif à liant sec.

Adhésif à repli (Mastic à repli) – Matériau adhésif servant à sceller les replis longitudinaux et transversaux des enveloppes isolantes.

Adhésion – Propriété d'un adhésif lui permettant de former une liaison de résistance mesurable, dès la mise en contact à basse pression de l'adhésif et de l'adhérent .

Apprêt – Première d'une série de couches d'enduits ayant pour but d'obturer ou de traiter une surface en vue de la liaison aux couches subséquentes.

Auto-extinction – Propriété d'un matériau qui cesse de brûler une fois les sources d'allumage externes enlevées.

Bloc – Isolant rigide ou semi-rigide, confectionné en pièces à plan et à coupe rectangulaires, et mesurant, en général, de 914,4 mm (36 po) à 1,219 mm (48 po) de longueur, de 152,4 mm (6 po) à 609,6 mm (24 po) de largeur, et de 25,4 mm (1 po) à 152,4 mm (6 po) d'épaisseur.

Bloc d'isolant thermique préformé – Matériau d'isolation thermique rigide ou semi-rigide, plat ou en forme de segment, s'installant tel quel.

Bloc en segment de courbe – Pièce d'isolant rigide moulée ou taillée dans un bloc s'ajustant à la dimension extérieure exacte d'un conduit.

Bouche-pores – Substance composée de divers matériaux et servant à empêcher le passage d'eau ou de vapeur d'eau aux joints de jonction des surfaces d'enveloppes et de coupe-vapeur recouvrant l'isolant. Un bon bouche-pores rétrécit très peu. Plusieurs sortes existent, comme les bouche-pores à pigments à haute dispersion (ne durcissant pas) et ceux résistant à la chaleur.

Capillarité – Propriété d'un matériau capable d'absorber ou de permettre le passage d'un liquide, par la seule force de la tension superficielle du liquide.

Celsius – Graduation de température (auparavant centigrade) selon laquelle le point de congélation de l'eau est fixé à 0° et le point d'ébullition à 100°. Sur cette échelle, le zéro absolu se situe à -273,15°.

Chape isolante – Pièce de recouvrement d'une bride, d'un raccord de tuyau ou d'un robinet composée d'un matériau isolant d'une épaisseur donnée, et façonnée selon la forme requise avant l'installation.

Charge – Matériau relativement inerte incorporé à un mastic ou à un enduit afin d'en modifier la force, la perméance, les qualités actives, ou autres.

Ciment de finition – Mélange de fibres, d'argile agglomérante et d'eau confectionné sur chantier en une masse plastique et appliqué sur les surfaces d'isolants pour leur conférer un fini uniforme et une dureté moyenne ou ferme.

Coefficient de dilatation (contraction) – Élongation (rétraction) d'un matériau correspondant à une unité de longueur, par suite d'une hausse (baisse) de température de un degré.

Combustibilité – Propriété d'un matériau mesurant sa tendance à brûler. Règle générale, la combustibilité est exprimée par les termes empiriques «indice de propagation de la flamme» et «indice de densité de la fumée» conformément à l'essai E-84 de l'«ASTM».

Combustible – Capacité d'un produit à s'associer à l'air ou à l'oxygène au cours d'une réaction amorcée par un réchauffement, et évoluant sous forme de chaleur et de lumière, c'est-à-dire, capable de brûler.

Combustible secondaire – Sous-produit inflammable généré et émis par un objet qui brûle.

Condensation – Phénomène selon lequel les molécules d'eau à l'état gazeux reviennent à l'état liquide au contact d'une surface de température moindre que le point de rosée de la vapeur.

Conduction – Transfert d'énergie, à l'intérieur d'un corps ou entre deux corps mis en contact, à partir d'une zone de température plus élevée à une zone de température moindre.

Conductivité – Voir «Conductance thermique».

Coupe-vapeur – Matériau ou matériaux lesquels, une fois installés du côté haute pression de vapeur, retardent le passage de la vapeur d'eau vers le côté basse pression de vapeur.

Couverture de fibre minérale – Isolant thermique en forme de couverture composé de fibres inorganiques et avec ou sans agglomérant.

Couverture isolante – Isolant flexible, fabriqué sous forme de feuilles ou de rouleaux, avec, en général, un coupe-vapeur d'un côté et avec ou sans feuille recouvrante de l'autre côté.

CPV – Chlorure de polyvinyle – Matériel plastique moulé selon des formes définitives, telles les chapes de raccords.

Cryogène – Qualificatif des températures extrêmement basses, tel que les points de liquéfaction des éléments gazeux, et avoisinant généralement le zéro absolu (-273,15°C).

Dégoulinage – Écoulement excessif d'un matériau appliqué à une surface produisant des traces ou coulures ondulées.

Densité de la fumée (fumée développée) – Indice correspondant à la quantité de fumée produite par un matériau en combustion par rapport à la quantité de fumée produite par le brûlage d'un matériau étalon.

Durci à chaud – Enduit plastique ou autre substance devenant infusible et insoluble par suite d'un réchauffement ou d'un traitement aux produits chimiques.

Écran hydrofuge – Matériau installé à la surface d'un isolant afin de le protéger des dommages que peuvent causer la pluie, la neige, le vent, les impuretés contenues dans l'air, et autres.

Effet de la corrosion – Usure ou destruction d'un substrat causée par les réactions acides ou alcalines entre les composés de l'isolant et du substrat.

Élastomère – Matériau pouvant être étiré de façon répétée à au moins deux fois la longueur originale, à température normale, puis reprenant sa longueur originale avec force dès le relâchement de la tension.

Émittance – Rapport entre la perte de chaleur totale par unité de temps et celle d'un corps noir parfait de surface équivalente.

Enduit – Fini de protection liquide ou semi-liquide convenant aux isolants calorifuges ou autres surfaces, et appliqué généralement au pinceau ou au fusil à une épaisseur de moins de 0,80 mm [30 millièmes de po (0,030 po)].

Enduit de calfeutrage – Matériau plastique malléable, constitué de pigments et de support, utilisé pour l'obturation des joints dans les bâtiments et autres constructions sujets à des mouvements structuraux.

Enduit d'isolant – Matériau ou matériaux recouvrant l'isolant ou le revêtement hydrofuge en vue de conférer une texture ou une couleur donnée à des fins esthétiques.

SSH/ Enveloppe – Revêtement enrobant un isolant afin de le protéger contre les dommages mécaniques et, suivant ses caractéristiques, contre les intempéries, l'eau, les rayons ultraviolets et autres.

Fahrenheit – Graduation de température du système impérial selon lequel le point de congélation de l'eau se situe à 32° et le point d'ébullition à 212°, 180 degrés étant répartis également entre ces deux points, et comportant des divisions d'égale valeur au-dessus et en dessous. Sur cette échelle, le zéro absolu est établi à -459,67°.

Feuille de métal stratifiée – Produit obtenu par la liaison d'une feuille mince à au moins un autre matériau, tel le papier kraft.

Feutre – Matériau isolant composé de fibres entrecroisées et comprimées.

Fibre de verre – Matériau mixte constitué de fibre de verre et d'un agglomérant résineux.

Fibre minérale (Laine) – Terme générique désignant toutes les fibres inorganiques d'origine autre que métallique, ces fibres pouvant être naturelles ou produites à partir de roche, de laitier ou de verre.

Filet métallique – Fil de métal maillé employé comme armature d'isolant.

Flexibilité – Caractère d'un matériau capable de plier (flexion) sans perte de résistance.

Garniture – Mince matériau recouvrant la surface d'un isolant et constituant soit, un coupe-vapeur, un écran hydrofuge, un revêtement protecteur ou un revêtement décoratif.

Humidité – Mesure de la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'atmosphère.

Humidité relative – Rapport entre la pression réelle de la vapeur d'eau et la pression maximale possible de saturation de la vapeur d'eau dans l'atmosphère, et exprimé en pourcentage pour une température donnée. (Voir «Point de rosée»).

Incombustibilité – Caractère d'un matériau capable de résister à la décomposition ou à la détérioration lorsque soumis au feu.

Incombustible – Matériau ne contribuant d'aucune façon au feu auquel il est exposé, ni comme carburant ni par l'apport de chaleur.

Inflammabilité – Caractère d'un matériau qui s'oxyde rapidement et dégage une chaleur de combustion lorsqu'exposé à une flamme ou à un feu, et qui continue de brûler une fois qu'est retirée la source externe d'inflammation.

Ininflammabilité – Propriété d'un matériau retardant la propagation d'un feu, soit, à travers lui ou autour de lui.

Ininflammable – Propriété d'un matériau l'empêchant de s'oxyder rapidement et de dégager de la chaleur ou de se consumer lorsqu'exposé à un feu ou à une flamme.

Isolant – Matériau de faible conductivité thermique employé pour réduire le passage ou la perte de chaleur.

Isolant biseauté – Isolant taillé par sections biseautées lesquelles sont ensuite assemblées de façon à épouser le contour ou la courbure de l'objet isolé.

Isolant d'élastomère cellulaire – Mousse composée surtout d'élastomère naturel ou synthétique en forme de cellule.

Isolant de silicate de calcium – Isolant composé principalement de silicate de chaux hydraté et mélangé à des fibres diverses agissant comme agglomérant.

Isolant de silice de diatomées – Isolant constitué en majorité de terre de diatomées mêlée ou non à un agglomérant inorganique résistant à la chaleur et comportant une certaine proportion de fibres minérales.

Isolant de tuyaux – Isolant thermique conçu pour application aux surfaces cylindriques des tuyaux et des tubes.

Isolant de tuyaux préformé – Isolant thermique dont la section est cylindrique, semi-cylindrique ou en segment de cercle en vue de s'adapter aux tuyaux et aux tubes.

SSH/ Isolant de verre cellulaire – Isolant composé de verre traité à la fusion pour donner une masse rigide et homogène de bulles cloisonnées.

Isolant en vrac – Particules de matériau isolant se présentant sous forme granulaire, nodulaire, fibreuse, poudreuse ou autres formes conçues pour être installées à sec et versées, soufflées, ou insérées à la main entre des surfaces de retenue ou comme couverture.

Isolant réfléchissant – Isolant thermique dont la plus grande part d'efficacité provient de la réduction du transfert de chaleur radiante à travers les espaces, par le biais d'une ou de plusieurs surfaces ayant un coefficient de réflexion élevé et un faible coefficient d'émission.

Isolant thermique – Matériau à poches remplies d'air ou de gaz, à vides d'air, ou à surfaces réfléchissant la chaleur, et retardant le transfert de chaleur avec une certaine efficacité, sous des conditions normales et pouvu qu'il soit bien installé.

Laize – Morceau d'isolant flexible, découpé en dimensions propres à faciliter la manutention, de forme carrée ou rectangulaire, mesurant d'habitude 609,6 mm (24 po) ou 1,219 mm (48 po) de longueur, avec coupe-vapeur d'un côté et avec ou sans feuille recouvrante de l'autre côté.

Lattage – Sur une surface cylindrique, couche d'isolant composée de lattes.

Latte – Pièce d'isolant rigide longue et étroite, à plan rectangulaire et à coupe trapézoïdale, façonnée par moulage ou coupée dans un bloc d'épaisseur appropriée.

Latte métallique – Matériau en forme de lattes d'épaisseurs et de dimensions variées et utilisé comme armature d'isolant.

Limites de températures Plus hautes et plus basses températures auxquelles un matériau peut être soumis sans subir d'altérations importantes de ses qualités.

Limites de température d'utilisation – Gamme de températures à l'intérieur de laquelle un revêtement donné procure un rendement satisfaisant.

Malléabilité – Propriété d'un matériau apte à subir de grandes déformations sans rupture.

Masse volumique – Masse d'une substance ayant un volume d'une unité.

Mastic – Enduit de protection de consistance assez épaisse et appliqué aux isolants thermiques ou autres surfaces, en général, à la truelle ou au jet et par couches épaisses de plus de 30 millièmes de pouce (environ 0,80 mm).

Membrane d'armature – Toile ou tissu à texture lâche fabriqué de fibre de verre ou de fibre élastique, placé au centre d'un coupe-vapeur ou d'un écran afin d'en renforcer le mastic.

Mousseline – Tissu à texture de tamis servant à renforcer les revêtements d'isolants.

Mousse plastique à cellules fermées – Plastique cellulaire dans lequel prédominent les cellules non communicantes.

Mousse plastique chimique – Plastique cellulaire produit au moyen des gaz générés par l'interaction chimique des constituants.

Perméabilité à la vapeur – Qualité d'un matériau se mesurant par la vitesse avec laquelle il est pénétré par la vapeur, par suite d'un écart de pression de vapeur entre ses surfaces.

Point d'affaissement – Température à laquelle un matériau de consistance ferme ou rigide devient mou ou malléable.

Point de rosée – Température à laquelle la quantité de vapeur d'eau contenue dans un matériau parvient au point de saturation, et se condense par la suite en liquide dès qu'elle subit une baisse subséquente de température.

Point d'inflammabilité – Plus basse température à laquelle un matériau dégage des gaz, ceux-ci formant avec l'air un mélange inflammable lorsqu'ils deviennent en contact près de la surface.

Pression de vapeur – Pression exercée par la vapeur d'eau en suspension dans l'atmosphère.

Produit de séchage – Additif incorporé à un enduit ou à un adhésif en vue d'accroître l'activité chimique entre les composantes, d'où augmentation ou diminution du temps de séchage.

Propagation de la flamme – Vitesse, exprimée en distance et en temps, avec laquelle un matériau propage la flamme à sa surface. Vu les difficultés inhérentes à ces mesures de temps et de distance, un indice de propagation de la flamme est maintenant utilisé afin de comparer divers matériaux au moyen des méthodes d'essais suivantes: ASTM E84 ou CAN2-S102-M83.

Recouvrement-humide – Propriété d'un matériau indiquant la quantité requise pour couvrir une surface donnée en vue d'une épaisseur déterminée une fois le matériau durci ou sec.

Rejetteau – Fine bande de métal insérée au point de jonction de deux matériaux afin de faire dévier l'eau dans une direction donnée.

Résilient – Se dit de matériaux capables de résister sans dommage ni altération à la pression ou au choc.

Résines d'uréthanne – Résines produites par la condensation de l'isocyanate organique avec des composés ou des résines contenant des groupes oxhydriles. Note: L'uréthanne fait partie de la famille des résines isocyanates.

Résistance à la compression – Résistance d'un matériau aux changements de dimension lorsque soumis à une force de compression.

Résistance à la flexion – Qualité d'un matériau résistant à la flexion et généralement exprimée en kg/m (lb/po).

Résistance au choc thermique – Qualité d'un matériau qui conserve sa forme, sans déformation, fissure ou écaillage, à la suite d'un changement subit de température.

Résistance au gel et dégel – Qualité d'un matériau capable de subir plusieurs cycles alternatifs de gel et de dégel, sans rupture ni fissure.

Rétraction linéaire – Caractéristique d'un matériau désignant la diminution relative de dimension subie par suite d'une exposition à des températures élevées.

Revêtement imperméable – Matériau ou matériaux installés à la surface des isolants thermiques afin de les protéger de la pluie, de la neige, du verglas, du vent, des radiations solaires et des impuretés atmosphériques.

Solvant – Toute substance, généralement liquide, utilisée pour la dissolution d'autres substances. Il s'agit, normalement, d'un composé organique liquide servant à faciliter la pose d'un enduit.

Solvant chloré – Liquide produit par chimie organique se caractérisant par une forte teneur en chlore et incorporé à divers enduits pour leur conférer de l'ininflammabilité.

Stabilité dimensionnelle – Qualité d'un isolant capable de conserver sa taille, sa forme et ses dimensions originales.

Substrat – Matériau sur la surface duquel est posé un adhésif ou un enduit.

Support – Dispositif (p. ex. un goujon ou une cheville soudée ou une attache fixée à l'aide d'un adhésif) supportant le poids d'un isolant ou d'une tuyauterie.

Système d'isolation – Ensemble des dispositifs utilisés dans le calorifugeage d'une tuyauterie, d'un réseau de conduites ou d'appareils et pouvant comporter des adhésifs, des attaches mécaniques, des enduits, des tissus d'armature, des bouche-pores et des enveloppes métalliques.

Température ambiante – Température du milieu, soit, en général, la température de l'air où se trouve l'objet considéré.

Température d'allumage spontané – Température la plus basse à laquelle un matériau prend feu sans l'apport d'une source d'allumage externe.

Temps de séchage (adhésifs) – Période de temps s'écoulant entre le moment d'application d'un adhésif et celui où la force de liaison cesse de s'accroître.

Temps de séchage (enduits) – Période de temps s'écoulant entre la pose de l'enduit et la stabilisation des propriétés, après quoi aucun changement notable n'apparaît plus ni dans l'aspect ni dans le rendement.

Thermoplastique – Qualité d'un matériau pouvant être ramolli de façon répétée au moyen d'un accroissement de température. Note: Le terme «thermoplastique» désigne des matériaux sur lesquels la chaleur produit un changement essentiellement physique.

Toile – Drap de coton léger à tissage gros et uni, à fil retordu serré et pesant normalement 271 grammes par mètre carré, au maximum.

Toxicité – Degré du risque encouru pour la santé.

Treillis de renforcement – Terme générique désignant les treillis métalliques fabriqués à partir d'un fil de fer galvanisé ayant, en général, des mailles de 25,4 mm (1 po). Ces produits sont aussi disponibles en alliages plaqués et anti-corrosifs.

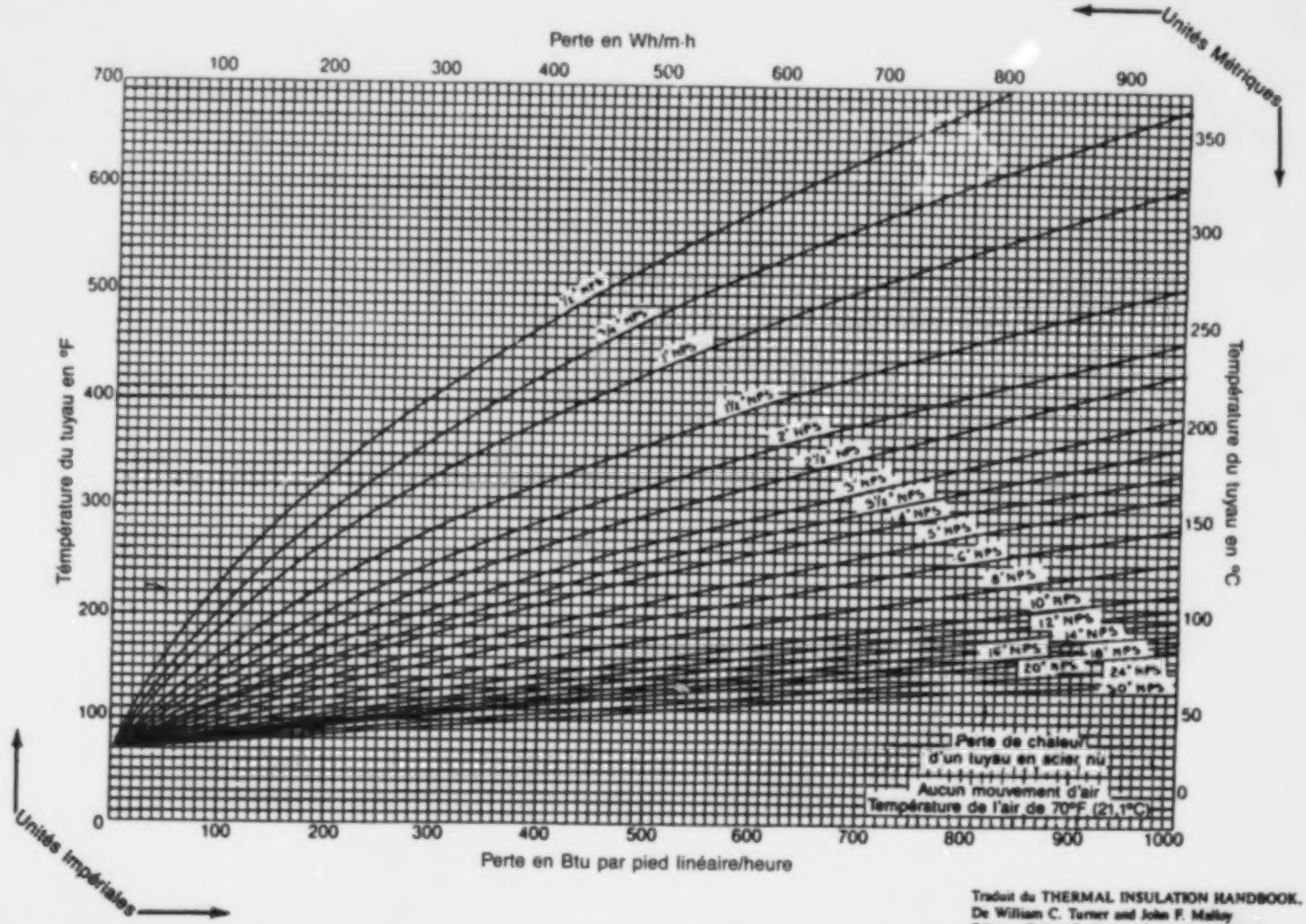
Vermiculite – Matériau isolant léger fabriqué à partir de la dilatation de granules à haute température.

Victaulic – Marque de commerce désignant un modèle de joint breveté.

Viscosité – Qualité d'un matériau se manifestant par la résistance à l'écoulement au sein même du matériau.

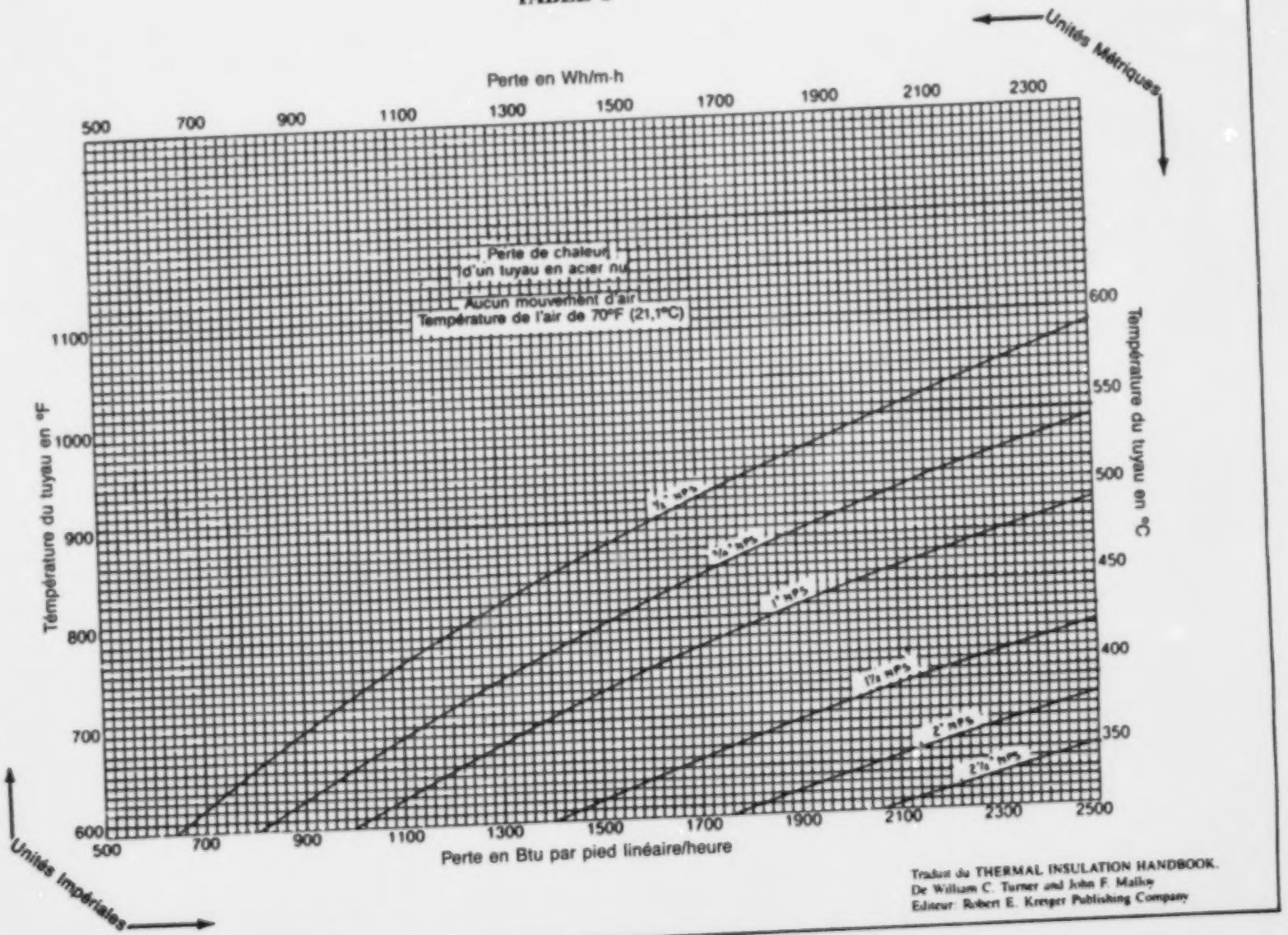
Visible – Toute surface visible dans une construction finie.

TABLE 1



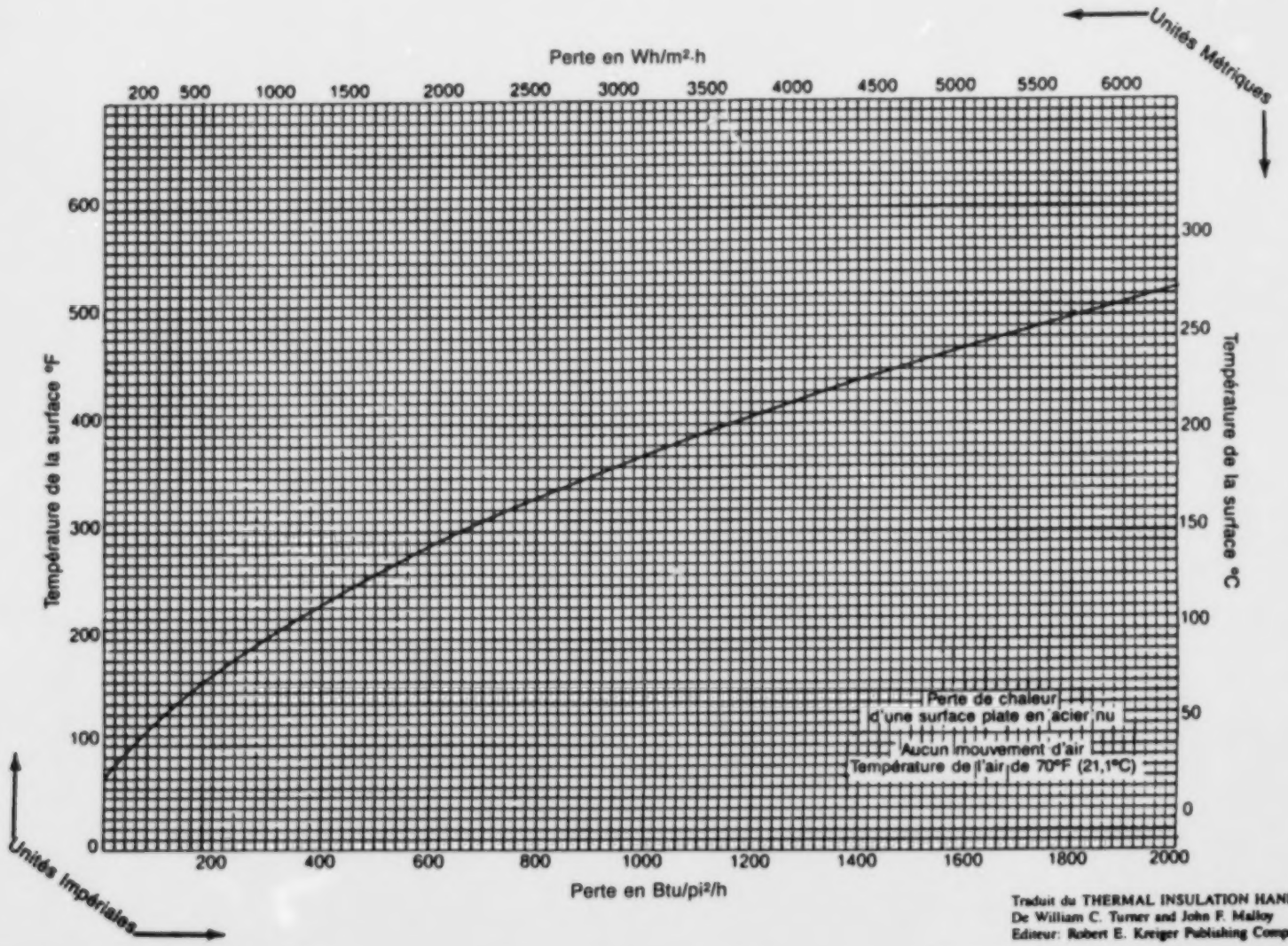
Traduit du THERMAL INSULATION HANDBOOK,
De William C. Turner and John F. Malloy
Editeur: Robert E. Kreiger Publishing Company

TABLE 1



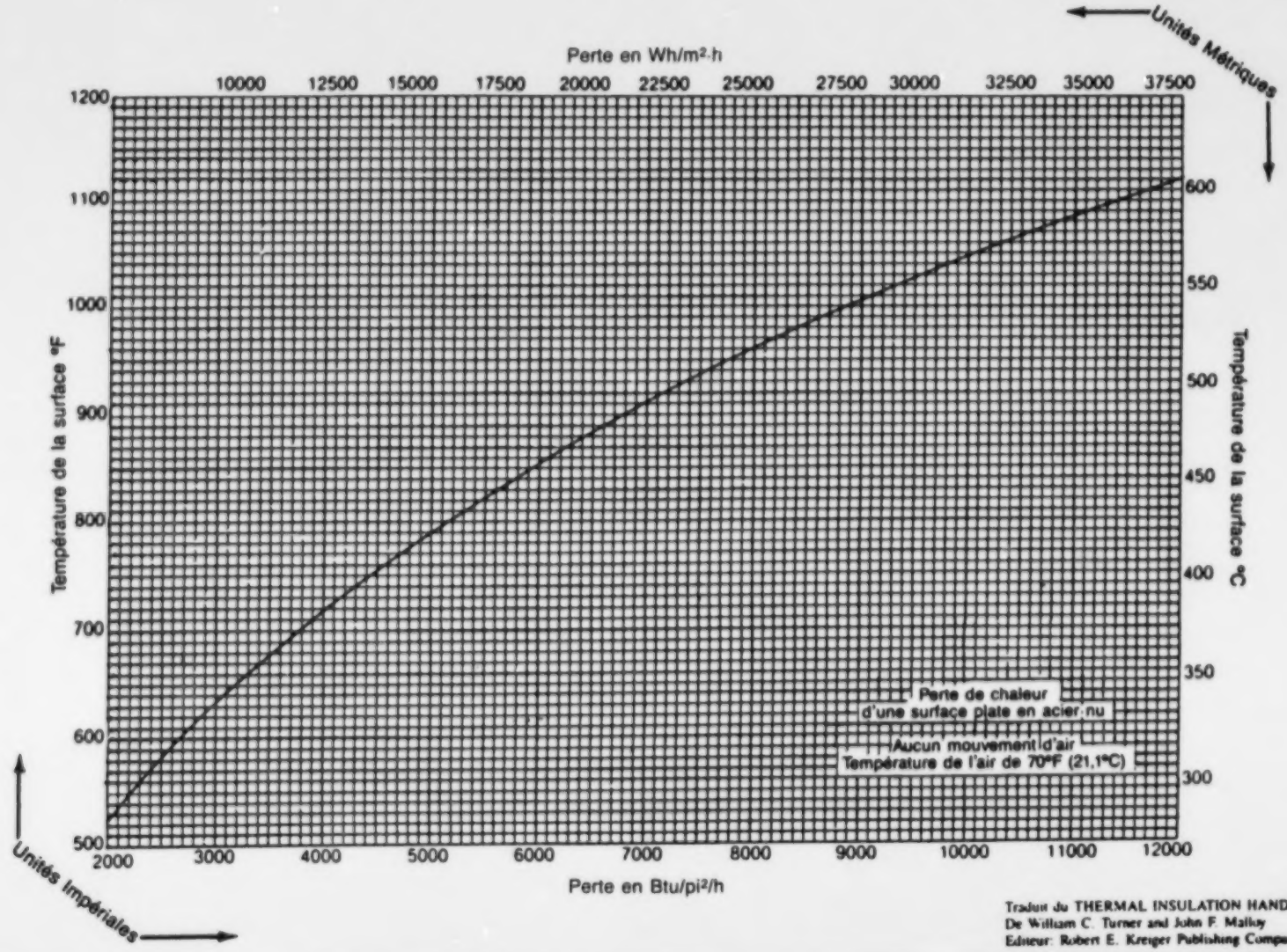
Traduit du THERMAL INSULATION HANDBOOK.
De William C. Turner and John F. Malloy
Editeur Robert E. Krieger Publishing Company

TABLE 2



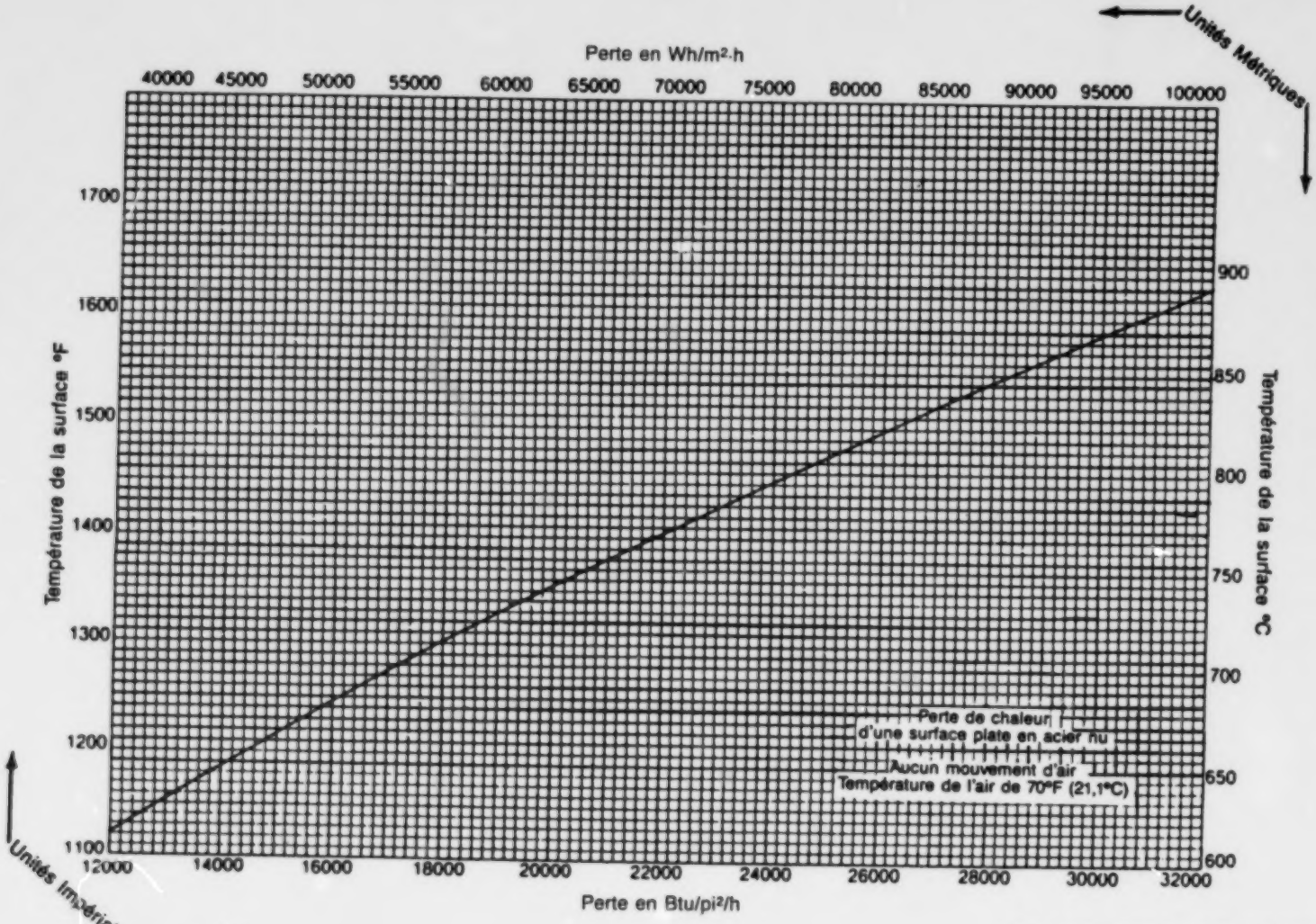
Traduit du THERMAL INSULATION HANDBOOK.
De William C. Turner and John F. Malloy
Editeur: Robert E. Kreiger Publishing Company

TABLE 2



Traduit du THERMAL INSULATION HANDBOOK.
De William C. Turner and John F. Malloy
Editeur: Robert E. Kreiger Publishing Company

TABLE 2



Traduit du THERMAL INSULATION HANDBOOK.
De William C. Turner and John F. Malloy
Editeur: Robert E. Kreiger Publishing Company

PERTES DE CHALEUR DES TUYAUX SELON DIFFÉRENTES ÉPAISSEURS D'ISOLANT
TABLE 3
SILICATE DE CALCIUM

NPS		TEMPERATURE D'OPÉRATION (°C) 66	121	177	232	288	343	399	454	510	566
0.5	épaisseur	25	38	51	64	76	89	102	102	114	140
	pert de ch.	8	15	23	32	41	52	63	81	96	110
	temp. de surf.	22	24	24	26	26	27	28	30	31	31
1	épaisseur	25	25	51	64	89	102	102	114	127	140
	pert de ch.	11	20	29	39	47	59	76	92	110	130
	temp. de surf.	23	24	26	27	26	27	29	30	31	32
1	épaisseur	25	51	64	76	102	102	102	140	140	152
	pert de ch.	13	21	32	43	52	70	90	99	123	146
	temp. de surf.	23	23	25	26	26	28	30	29	31	32
2	épaisseur	38	51	76	89	102	102	102	140	152	152
	pert de ch.	12	24	23	45	59	78	101	110	132	162
	temp. de surf.	22	24	24	25	26	28	31	29	31	33
3	épaisseur	38	64	89	102	102	114	114	152	165	178
	pert de ch.	15	27	37	52	72	90	117	128	148	177
	temp. de surf.	22	23	24	25	27	28	31	30	31	32
4	épaisseur	38	76	102	102	102	127	140	152	178	191
	pert de ch.	18	28	40	61	85	98	121	146	167	198
	temp. de surf.	22	23	23	26	28	30	29	31	31	32
6	épaisseur	51	76	102	102	114	127	140	165	191	203
	pert de ch.	20	37	52	78	100	125	153	174	200	237
	temp. de surf.	22	23	24	26	28	29	31	31	32	33
8	épaisseur	51	86	98	98	123	123	135	172	196	208
	pert de ch.	25	40	62	93	112	149	182	196	225	266
	temp. de surf.	22	23	24	27	27	29	32	31	32	33
10	épaisseur	51	89	102	102	127	140	140	191	216	229
	pert de ch.	31	48	74	111	130	163	212	217	249	295
	temp. de surf.	22	23	25	27	28	29	32	31	32	33
12	épaisseur	51	89	102	102	127	140	140	191	216	241
	pert de ch.	35	55	84	126	148	185	239	243	279	318
	temp. de surf.	22	23	25	28	28	30	33	31	32	33
14	épaisseur	51	89	102	102	127	140	165	191	229	241
	pert de ch.	38	59	90	136	159	198	227	261	286	338
	temp. de surf.	22	23	25	28	28	30	31	32	32	33
16	épaisseur	64	89	102	102	140	178	203	229	254	254
	pert de ch.	36	65	101	151	164	219	237	273	313	358
	temp. de surf.	22	23	26	28	28	31	30	31	32	33
18	épaisseur	64	89	102	102	140	140	178	203	229	254
	pert de ch.	39	72	111	166	180	240	260	298	340	388
	temp. de surf.	22	23	26	28	28	31	31	31	32	33
20	épaisseur	64	89	102	102	140	140	178	203	229	254
	pert de ch.	43	79	121	182	196	262	281	322	368	419
	temp. de surf.	22	24	26	28	28	31	31	32	32	33
24	épaisseur	64	102	102	102	140	152	191	203	229	254
	pert de ch.	51	83	141	212	228	284	308	371	422	479
	temp. de surf.	22	23	26	28	28	30	30	32	33	34
30	épaisseur	64	102	102	102	140	165	191	216	254	254
	pert de ch.	62	101	172	258	275	319	368	422	462	568
	temp. de surf.	22	23	26	29	29	29	31	32	32	34
36	épaisseur	64	102	102	102	140	178	203	229	254	254
	pert de ch.	74	118	203	304	322	350	406	467	535	657
	temp. de surf.	22	23	26	29	29	29	30	31	32	34
PLAT	épaisseur	51	89	102	114	140	216	241	254	254	254
	pert de ch.	32	44	63	85	98	85	98	120	148	183
	temp. de surf.	22	23	25	27	28	27	28	29	32	34

pert de chaleur : Wh/m pour les tuyaux, Wh/m² pour les surfaces droites
Valides pour une température ambiante de 18°C.

PERTES DE CHALEUR DES TUYAUX SELON DIFFÉRENTES ÉPAISSEURS D'ISOLANT
TABLE 3

FIBRE MINÉRALE

NPS		TEMPÉRATURE D'OPÉRATION (°C) 66	121	177	232	288	343	399	454	510	566
0.5	épaisseur	25	38	51	64	76	89	102	102	114	140
	perte de ch.	8	15	23	32	41	52	63	81	96	110
	temp. de surf.	22	24	24	26	26	27	28	30	31	31
1	épaisseur	25	25	51	64	89	102	102	114	127	140
	perte de ch.	11	20	29	39	47	59	76	92	110	130
	temp. de surf.	23	24	26	27	26	27	29	30	31	32
1.5	épaisseur	25	51	64	76	102	102	102	140	140	152
	perte de ch.	13	21	32	43	52	70	90	99	123	146
	temp. de surf.	23	23	25	26	26	28	30	29	31	32
2	épaisseur	38	51	76	89	102	102	102	140	152	152
	perte de ch.	12	24	23	45	59	78	101	110	132	162
	temp. de surf.	22	24	24	25	26	28	31	29	31	33
3	épaisseur	38	64	89	102	102	114	114	152	165	178
	perte de ch.	15	27	37	52	72	90	117	128	148	177
	temp. de surf.	22	23	24	25	27	28	31	30	31	32
4	épaisseur	38	76	102	102	102	127	140	152	178	191
	perte de ch.	18	28	40	61	85	98	121	146	167	198
	temp. de surf.	22	23	23	26	28	30	29	31	31	32
6	épaisseur	51	76	102	102	114	127	140	165	191	203
	perte de ch.	20	37	52	78	100	125	153	174	200	237
	temp. de surf.	22	23	24	26	28	29	31	31	32	33
8	épaisseur	51	86	98	98	123	123	135	172	196	208
	perte de ch.	25	40	62	93	112	149	182	196	225	266
	temp. de surf.	22	23	24	27	27	29	32	31	32	33
10	épaisseur	51	89	102	102	127	140	140	191	216	229
	perte de ch.	31	48	74	111	130	163	212	217	249	295
	temp. de surf.	22	23	25	27	28	29	32	31	32	33
12	épaisseur	64	102	102	102	127	140	178	203	216	241
	perte de ch.	45	72	116	163	184	256	227	252	288	317
	temp. de surf.	23	24	27	30	30	32	31	31	32	33
14	épaisseur	64	102	102	102	127	140	178	203	229	241
	perte de ch.	49	78	125	176	197	233	242	252	296	338
	temp. de surf.	23	24	27	30	31	32	31	31	32	33
16	épaisseur	76	102	102	102	140	191	203	229	254	254
	perte de ch.	48	87	138	196	203	228	255	295	325	358
	temp. de surf.	22	24	28	31	29	30	31	32	32	33
18	épaisseur	76	102	102	102	140	165	191	216	229	254
	perte de ch.	53	95	153	216	223	249	278	308	353	387
	temp. de surf.	23	24	28	31	30	31	31	31	32	33
20	épaisseur	76	102	102	102	140	165	191	216	241	254
	perte de ch.	58	104	167	236	242	270	300	333	366	418
	temp. de surf.	23	25	28	31	30	31	31	32	32	33
24	épaisseur	76	102	102	102	140	165	191	216	241	254
	perte de ch.	68	122	195	276	282	312	346	382	420	478
	temp. de surf.	23	25	28	31	31	31	31	32	32	34
30	épaisseur	76	102	102	102	140	178	203	229	254	254
	perte de ch.	83	148	237	336	339	354	393	435	479	566
	temp. de surf.	23	25	28	31	31	31	31	32	32	34
36	épaisseur	64	102	102	102	165	191	203	229	254	254
	perte de ch.	114	174	280	394	345	390	457	504	554	655
	temp. de surf.	23	25	28	32	29	30	31	32	33	34
PLAT	épaisseur	64	89	102	140	165	191	216	241	254	254
	perte de ch.	38	63	88	91	104	114	123	136	155	183
	temp. de surf.	23	25	27	27	28	29	29	31	32	34

Perte de chaleur : Wh/m pour les tuyaux, Wh/m² pour les surfaces droites
Valides pour une température ambiante de 18°C

PERTES DE CHALEUR DES TUYAUX SELON DIFFÉRENTES ÉPAISSEURS D'ISOLANT
TABLE 3
VERRE CELLULAIRE

NPS		TEMPÉRATURE D'OPÉRATION (°C) 66	121	177	232	288	343	399
0.5	épaisseur	25	38	51	64	76	89	102
	perte de ch.	12	25	37	49	61	72	86
	temp. de surf.	24	26	28	28	29	30	31
1	épaisseur	25	51	64	76	89	102	102
	perte de ch.	16	28	41	55	68	83	102
	temp. de surf.	24	25	27	28	29	30	32
1.5	épaisseur	38	64	76	102	102	102	102
	perte de ch.	17	31	46	58	77	98	121
	temp. de surf.	23	24	26	27	29	31	33
2	épaisseur	38	64	76	102	102	102	114
	perte de ch.	14	35	51	64	86	110	128
	temp. de surf.	22	25	27	27	29	32	32
3	épaisseur	38	76	89	102	102	114	127
	perte de ch.	25	39	60	79	106	127	148
	temp. de surf.	24	24	26	26	31	32	33
4	épaisseur	51	76	102	102	102	114	127
	perte de ch.	25	46	64	92	123	147	170
	temp. de surf.	23	25	26	28	31	32	33
6	épaisseur	51	89	102	102	114	140	152
	perte de ch.	34	54	82	118	147	165	193
	temp. de surf.	23	24	27	29	31	31	33
8	épaisseur	64	86	98	98	123	135	159
	perte de ch.	36	65	99	142	163	196	217
	temp. de surf.	23	25	27	31	31	32	33
10	épaisseur	64	102	102	102	140	140	178
	perte de ch.	42	70	116	167	179	229	239
	temp. de surf.	23	24	28	31	31	33	32
12	épaisseur	64	102	102	102	140	140	191
	perte de ch.	48	80	133	191	203	258	258
	temp. de surf.	23	25	28	32	31	34	32
14	épaisseur	64	102	102	102	140	140	203
	perte de ch.	53	87	142	206	217	277	262
	temp. de surf.	23	25	28	32	31	34	31
16	épaisseur	64	102	102	102	140	140	203
	perte de ch.	59	96	159	229	240	307	288
	temp. de surf.	23	25	28	32	31	34	32
18	épaisseur	64	102	102	102	140	140	203
	perte de ch.	65	106	175	252	263	337	314
	temp. de surf.	23	25	29	32	31	34	32
20	épaisseur	64	102	102	114	140	140	203
	perte de ch.	71	115	191	251	287	365	340
	temp. de surf.	23	26	29	31	32	34	32
24	épaisseur	64	102	102	127	140	140	203
	perte de ch.	84	135	223	268	333	425	391
	temp. de surf.	23	26	29	30	32	35	32
30	épaisseur	64	102	102	140	140	140	203
	perte de ch.	103	164	271	300	402	512	467
	temp. de surf.	24	26	29	29	32	36	33
36	épaisseur	64	102	102	140	140	140	203
	perte de ch.	122	193	319	352	470	600	543
	temp. de surf.	24	26	29	29	33	36	33
PLAT	épaisseur	64	102	102	140	140	191	216
	perte de ch.	41	63	101	107	145	136	148
	temp. de surf.	406	25	28	28	31	31	32

Perte de chaleur : Wh/m pour les tuyaux, Wh/m² pour les plats
Valides pour une température ambiante de 18°C.

CARACTÉRISTIQUES THERMIQUES DE MATÉRIAUX COURANTS DE CONSTRUCTION ET D'ISOLATION — VALEURS DE CALCULS
TABLE 4

Description	Densité kg/m³	Conductivité k W/m·°C	Conductance (C) W/m²·°C	Résistance (R) Par pouce d'épaisseur (1/k) m·°C/W	Résistance (R) pour une épaisseur donnée (1/C) m²·°C/W	Chaleur spécifique kJ/(kg·°C)
MATÉRIAUX ISOLANTS						
Couvertures et laizes						
Fibres minérales, matière fibreuse obtenue à partir de roches, de laitier ou de verre						
environ 76,2-101,6 mm	4,8-32,0	—	0,52	—	1,94	
environ 88,9 mm	4,8-32,0		0,44	—	2,29	
environ 139,7-165,1 mm	4,8-32,0	—	0,30	—	3,34	
environ 152,4-177,8 mm	4,8-32,0		0,26		3,87	
environ 215,9-228,6 mm	4,8-32,0		0,19		5,28	
environ 304,8 mm	4,8-32,0	—	0,15		6,69	
Panneaux et dalles						
Verre cellular	136	0,050	—	19,85		0,75
Fibre de verre à liant organique	64-144	0,036	—	27,76	—	0,96
Mousse de perlite, à liant organique	16,0	0,052	—	19,29	—	1,26
Expanded rubber (rigid)	72,0	0,032	—	31,58	—	1,68
Mousse de polystyrène filée						
surface à cellules tranchées	28,8	0,036	—	27,76	—	1,22
Surface à pellicule douce	28,8-56,0	0,029	—	34,70	—	1,22
Mousse de polystyrène, à pastilles moulées	16,0	0,037	—	23,25	—	—
	20,0	0,036	—	27,76	—	—
	24,0	0,035	—	28,94	—	—
	28,0	0,035	—	28,94	—	—
	32,0	0,033	—	30,19	—	—
Polyuréthane (R-U exp.)(surfaces brutes)	24,0	0,023	—	43,38	—	1,59
Verre cellulaire renforcé de fibres à surfaces de feuilles métalliques						
Polyisocyanidrate (R-U exp.)	32,0	0,020	--	49,97	—	0,92
épaisseurs nominales 12,70 mm		—	1,58	—	0,63	
épaisseurs nominales 25,40 mm		—	0,79	—	1,27	
épaisseurs nominales 50,80 mm		—	0,39	—	2,53	
Fibre minérale, à liant de résine	240	0,042	—	23,94	—	0,71
Panneau de fibre minérale, feutrée humide						
Isolant de murs ou de toits	256-272	0,049	—	20,40	—	
Tuile acoustique	288	0,050	—	19,85	—	0,80
Tuile acoustique	336	0,053	—	18,74	—	
Panneau de fibre minèrale, feutrée humide						
Tuile acoustique	368	0,060	—	16,52	—	0,59
Panneau de fibre de bois ou de canne						
Tuile acoustique 12,70 mm	—	—	4,54	—	0,22	1,30
Tuile acoustique 19,05 mm	—	—	3,01	—	0,33	—
Finition intérieure (planche, tuile)	240	0,050	—	19,85	—	1,34
Dalles de fibro-ciment (bois déchiqueté lié par du ciment Portland)	400-432	0,072-0,070	—	13,88-13,12	—	—
Dalles de fibro-ciment (bois déchiqueté lié par de l'oxysulfure de magnésium)	352	0,082	—	12,15	—	1,30
S'APPLIQUANT AU CHANTIER						
Mousse de polyuréthane	24,0-40,0	0,023-0,026	—	43,38-36,50	—	
Base de fibre de cellulose, à vaporiser	32,0-96,0	0,035-0,043	—	23,11-28,94	—	

CONDUCTIVITÉ THÉRMIQUE DES ISOLANTS INDUSTRIELS
VALEURS DE CALCULS
Wh/m·°C
TABLE 5

Forme — Composition du matériau	Temp. max. autorisée. °C	Densité normale (kg/m³)	Conductivité normale (k) à température moyenne (°C)												
			−73.3	−59.4	−45.6	−31.7	−17.8	−3.9	10.0	23.9	37.8	93.3	148.9	260.0	371.1	482.2
COUVERTURES ET FEUTRES																
FIBRE MINERALE																
(de roche, laitier ou verre)																
Couverture renforcée de métal	650	96-192									0.037	0.046	0.056	0.078		
	540	40.0-96.0									0.035	0.045	0.058	0.088		
Fibre de verre minérale	180	à														
Couverture flexible, fibre fine		moins				0.036	0.037	0.040	0.043	0.048	0.052	0.076				
à liant organique		12.0				0.035	0.036	0.039	0.042	0.046	0.049	0.069				
		16.0				0.033	0.035	0.036	0.039	0.042	0.046	0.062				
		24.0				0.030	0.032	0.033	0.036	0.039	0.040	0.053				
		32.0				0.029	0.030	0.032	0.033	0.036	0.037	0.048				
		48.0				0.027	0.029	0.030	0.032	0.033	0.035	0.045				
Couverture flexible, fibre textile,	180	10.4				0.039	0.040	0.042	0.043	0.045	0.046	0.072	0.098			
à liant organique		12.0				0.037	0.039	0.040	0.042	0.045	0.046	0.069	0.095			
		16.0				0.035	0.036	0.037	0.039	0.042	0.045	0.065	0.086			
		24.0				0.032	0.033	0.035	0.036	0.039	0.042	0.056	0.073			
		48.0				0.029	0.030	0.032	0.033	0.035	0.036	0.046	0.059			
Feutre semirigide, à liant organique	200	48-128						0.035	0.036	0.037	0.039	0.050	0.063			
	450	48.0	0.023	0.024	0.026	0.027	0.029	0.030	0.032	0.033	0.035	0.050	0.079			
Laminée et feutrée	650	120											0.050	0.065	0.086	
sans liant																
FIBRES VÉGÉTALES ET ANIMALES																
Feutre de poils ou feutres de poils avec jute	80	160						0.037	0.040	0.042	0.043					
BLOCS, PANNEAUX ET ISOLANTS DE TUYAUX																
EN AMIANTE																
Carton d'amiante laminé	370	480									0.058	0.065	0.072	0.086		
Carton d'amiante ondulé et lamnié																
4-plis	150	176-208								0.078	0.082	0.098				
6-plis	150	240-272								0.071	0.073	0.085				
8-plis	150	288-320								0.068	0.071	0.082				
AMOSITE MOULÉE AVEC LIANT	820	240-288									0.046	0.053	0.060	0.075	0.089	0.104
MAGNÉSIE À 85%	320	176-192	192								0.050	0.055	0.060			
SILICATE DE CALCIUM	650	176-240									0.055	0.059	0.063	0.075	0.089	0.104
	980	192-240												0.091	0.107	0.137
VERRE CELLULAIRE	480	136	0.039	0.040	0.042	0.043	0.045	0.046	0.048	0.050	0.052	0.060	0.071	0.101	0.148	
SILICE DIATOMÉE	870	336-352												0.092	0.098	0.104
	1040	368-400												0.101	0.108	0.115
FIBRE MINÉRALE																
Verre,																
Blocs et panneaux à liant organique	200	48-160	0.023	0.024	0.026	0.027	0.029	0.032	0.035	0.036	0.037	0.048	0.058			
Liant ne pourrissant pas	540	48-160									0.037	0.045	0.055	0.075		
Isolant de tuyau (laitier ou verre)	180	48.0-64.0														
							0.029	0.030	0.032	0.033	0.035	0.042				
	260	48-160					0.029	0.032	0.035	0.036	0.037	0.048	0.058			
Blocs à liant inorganique	540	160-240									0.048	0.055	0.065	0.079		
	980	240-384									0.046	0.053	0.060	0.075	0.089	0.107
Isolant de tuyau (laitier ou verre)	540	160-240									0.048	0.055	0.065	0.079		
FIBRE MINÉRALE																
À liant résineux		240			0.033	0.035	0.036	0.037	0.040	0.042						
POLYSTYRÈNE RIGIDE																
Filée, fluide frigorigène 12 exp.																
surface de pellicule lisse.	80	35.2	0.023	0.023	0.024	0.023	0.024	0.026	0.027	0.029						
Filée, surface à cellules tranchées	80	28.8	0.024	0.026	0.027	0.029	0.030	0.033	0.035	0.036	0.039					
à pastilles moulées	80	16.0	0.024	0.027	0.029	0.030	0.032	0.035	0.036	0.037	0.040					
		24.0	0.023	0.024	0.027	0.029	0.030	0.032	0.033	0.035	0.037					
		20.0	0.024	0.026	0.027	0.029	0.032	0.033	0.035	0.036	0.039					
		28.0	0.023	0.024	0.026	0.027	0.029	0.032	0.033	0.035	0.036					
		32.0	0.022	0.023	0.026	0.027	0.029	0.030	0.032	0.033	0.035					
POLYISOCYANDRATE RIGIDE																
Cellulaire, surfaces de feuilles métalliques,																
renforcé de fibre de verre, fluide frigorigène 11 exp	120	32.0						0.017	0.019	0.020	0.022					
POLYURÉTHANE																
Fluide frigorigène 11 exp (sans finition de surface)	100	24.0-40.0	0.023	0.024	0.026	0.026	0.026	0.024	0.023	0.023	0.024					
CAOUTCHOUC, mousse rigide	70	72						0.029	0.030	0.032	0.033					
FIBRES VÉGÉTALES ET ANIMALES																
Feutre de laine (isolant de tuyau)	80	320						0.040	0.043	0.045	0.048					
MASTIC ISOLANT																
FIBRES MINÉRALES																
(Roches, laitier ou verre)												0.071	0.079	0.088	0.105	0.122
à liant d'argile colloïdale	980	384-480										0.108	0.115	0.122	0.137	
à liant durcissant à l'eau	650	480-460														
VRAC DE REMPLISSAGE																
Isolant de cellulose (pâte de bois																
ou de papier pulvérisé à la machine)		40.0-48.0							0.037	0.039	0.042					
Fibre minérale (roches, laitier ou verre)		32.0-80.0			0.027	0.030	0.033	0.036	0.037	0.040	0.045					
Perlite (mouse)		480-80.0	0.032	0.035	0.036	0.039	0.040	0.043	0.045	0.048	0.050					
Silica acrogel		122			0.019	0.020	0.022	0.022	0.023	0.024	0.026					
Vermiculite (mousse)		112-131			0.056	0.058	0.060	0.063	0.065	0.068	0.071					
		64-96			0.049	0.050	0.056	0.058	0.060	0.063	0.066					

PRINCIPAUX TYPES D'ISOLANTS
TABLE 6

TYPE	FORME	TEMPÉRATURES D'UTILISATION	FACTEUR k*	REMARQUES
Silicate de calcium	Chape de tuyaux Blocs Segments	jusqu'à 982°C (1800°F)	,066 @ 150°C ,45 @ 300°F	Bonne résistance aux coups, incombustible. Certains absorbent l'eau.
Verre cellulaire	Chape de tuyaux Blocs Segments	de −267°C @ 482°C (de −450°F to 900°F)	,077 @ 150°C ,53 @ 300°F	Assez fort, résite à l'eau et a la vapeur, incombustible. Faible résistance à l'abrasion
Fibre de verre	Chape de tuyaux Panneaux Segments	jusqu'à 455°C (850°F) jusqu'à 510°C (950°F)	,035 @ 24°C ,24 @ 75°F ,050 at 150°C ,35 at 300°F variable, voir données du manufacturier	Caractéristiques variables. Se manipule et se travaille bien. Peut absorber de l'eau. Certains sont incombustibles.
Fibre minérale	Chape de tuyau Panneaux	jusqu'à 870°C (1600°F)	,035 @ 24°C ,24 at 75°F ,061 at 150°C ,42 at 300°F conductivité varie selon la densité	Incombustible. Se travaille bien. Absorbe l'eau.
Fibres céramiques	Couvertures ou panneaux	jusqu'à 1760°C (3200°F)	,30 @ 93°C (200°F)	Températures d'utilisation varient selon le fabricant, la forme et la type.
Mastics	À durcissement à l'eau Laine minérale à haute température De finition et de joint (minéral ou vermiculite)	jusqu'à 650°C (1200°F) jusqu'à 1040°C (1900°F) jusqu'à 760°C (1400°F)	1,75 @ 315°C (600°F) ,69 @ 315°C (600°F) ,55 @ 93°C (200°F)	Application en une couche-isolation et finition. Séchage lent, fini rugu;e;ux — isolation et remplissage. Utilisé par-dessus l'isolant de base fini doux, application normale de 3,175 mm (⅛ po) jusqu'à 6,35 mm (¼ po) d'épaisseur.

*Le facteur k = W/(m·°C) ou [(Btu·po)/(pi²·h·°F)]

REVÊTEMENTS ET ENDUITS DE PROTECTION
TABLE 7

ÉCRANS CONTRE LES INTEMPÉRIES

TYPE	COMPOSITION	ATTACHES	REMARQUES
ENVELOPPES:	1. Pellicules plaquées sur feutre ou feuilles métalliques	Adhésif à contact et/ou ruban	Résiste à la corrosion, aux bactéries et aux moisissures.
	2. Acier inoxydable (divers alliages disponibles avec écran contre l'humiditié appliqué en usine)	Collets résistants à la corrosion et vis ou rivets	Excellente résistance physique, résiste à la corrosion, aux bactéries et à la moisissure.
	3. Acier galvanisé (plaqué et comportant un écran contre l'humidité appliqué en usine)	Collets résistants à la corrosion et vis ou rivets	Bonne résistance physique
	4. Alliages d'aluminium (comportant normalement un écran contre l'humidité appliqué en usine)	Collets résistants à la corrosion et vis ou rivets	Bonne résistance physique, se travaille bien.
	5. Chlorure de polyvinyle (CPV)	Attaches mécaniques, adhésif ou ruban assorti	Peut nécessiter une protection contre les rayons ultra-violets. Résiste aux produits chimiques et aux bactéries.
	6. Plastique à haute résistance (ABS)	Colles ABS ou attaches méchaniques	
	7. Feutres de toitures	Collets ou fils métalliques	Non recommandé pour les conduits rectangulaires.
MASTICS:	1. Émulsion asphaltique	Appliquer sur un grillage de renforcement	Dilué à l'eau, mastic laissant passer l'air.
	2. Bitume fluidifié	Appliquer sur un grillage de renforcement	Base de solvant, constitue un coupe-vapeur.
	3. Émulsion résineuse	Appliquer sur un grillage de renforcement	Solide, a de la résilience.
	4. Acétate polyvinyl	Appliquer sur un grillage de renforcement	Solide, a de la résilience.
	5. Acrylique	Appliquer sur un grillage de renforcement	Solide, a de la résilience.

NOTE: Un revêtement ne constitue un écran contre les intempéries que si les joints et le chevauchement sont imperméables.

COUPE-VAPEURS
TABLE 8

TYPE	COMPOSITION	REMARQUES
ENVELOPPES:	1. Laminé de canevas	Sceller les joints. Résistance physique moindre que le métal ou le plastique. Généralement pour installation à l'intérieur.
	2. Chemisage métallique	Sceller les joints. Bonne résistance physique.
	3. Chlorure polyvinyl (CPV)	Sceller au moyen d'un adhésif compatible et/ou d'un ruban adhésif
	4. Plastique à haute résistance (ABS)	Souder au moyen d'un adhésif.
	5. Pellicule laminée	Sceller au moyen d'un adhésif à contact et/ou d'un ruban.
MASTICS:	1. Bitume fluidifié	Appliquer sur un grillage de renforcement. Combustible.
	2. Résines — de type "advent"	Appliquer au pinceau ou par vaporisation.
	3. Élastomère	Appliquer sur un grillage de renforcement. Combustible.

CONVERSIONS COURANTES

1 baril (35 gal imp.) (42 gal U.S.)	= 159,1 litres
1 gallon (imp.)	= 1,20094 gallon (U.S.)
1 cheval vapeur (chaudière)	= 9809,6 watts
1 cheval vapeur	= 2545 Btu/heure
1 cheval vapeur	= 0,746 kilowatts
1 joule	= 1 N-m
Kelvin	= (°C + 273,15)
1 kilowatt-heure	= 3600 kilojoules
1 Newton	= 1 Kg-m/s^2
1 thermie	= 10^5 Btu
1 tonne (réfrigérant)	= 12002,84 Btu/heure
1 tonne (réfrigérant)	= 3516,8 watts
1 watt	= 1 joule/seconde
degré Rankine	= (°F + 459,67)

Cubes

1 v^3 = 27 pi^3

1 pi^3 = 1728 po^3

1 cm^3 = 1000 mm^3

1 m^3 = 10^6 cm^3

1 m^3 = 1000 L

Carrés

1 v^2 = 9 pi^2

1 pi^2 = 144 po^2

1 cm^2 = 100 mm^2

1 m^2 = 10000 cm^2

PRÉFIXES SI

Préfixe	Symbole	Valeur numérique	Exposant
téra	T	1 000 000 000 000	10^{12}
giga	G	1 000 000 000	10^9
méga	M	1 000 000	10^6
kilo	k	1 000	10^3
hecto	h	100	10^2
déca	da	10	10^1
déci	d	0,1	10^{-1}
centi	c	0,01	10^{-2}
milli	m	0,001	10^{-3}
micro	u	0,000 001	10^{-6}
nano	n	0,000 000 001	10^{-9}
pico	p	0,000 000 000 001	10^{-12}

TABLES DE CONVERSION DES UNITÉS MÉTRIQUES EN UNITÉS IMPÉRIALES

DE	SYMBOLE	À	SYMBOLE	VALEUR NUMÉRIQUE
ampère/centimètre carré	A/cm^2	ampère/pouce carré	A/po^2	6,452
degré Celsius	°C	degré Fahrenheit	°F	(°C × 9/5) + 32
centimètre	cm	pouce	po	0,3937
centimètre cube	cm^3	pouce cube	po^3	0,06102
mètre cube	m^3	pied cube	pi^3	35,314
gramme	g	once	oz	0,03527
gramme	g	livre	lb	0,0022
gramme/litre	g/L	livre/pied cube	lb/pi^3	0,06243
joule	J	Btu	Btu	$9,480 \times 10^{-4}$
joule	J	pied-livre	pi-lb	0,7376
joule	J	cheval vapeur-heure	cv-h	$3,73 \times 10^{-7}$
joule/mètre, (Newton)	J/m, N	livre	lb	0,2248
kilogramme	kg	livre	lb	2,205
kilogramme	kg	tonne (longue)	tonne	$9,842 \times 10^{-4}$
kilogramme	kg	tonne (courte)	tn	$1,102 \times 10^{-3}$
kilomètre	km	mille	mille	0,6214
kilopascal	kPa	atmosphère	atm	$9,87 \times 10^{-3}$
kilopascal	kPa	pouce de mercure (32°F)	po de Hg	0,2953
kilopascal	kPa	pouce d'eau (4°C)	po d'H_2O	4,0147
kilopascal	kPa	livre/pouce carré	lb/po^2	0,1450
kilowatt	kW	pied-livre/seconde	pi-lb/s	737,6
kilowatt	kW	cheval vapeur	cv	1,341
kilowatt-heure	kWh	Btu	Btu	3413
litre	L	pied cube	pi^3	0,03531
litre	L	gallon (imp.)	gal (imp.)	0,21998
litre	L	gallon (U.S.)	gal (U.S.)	0,2642
litre/seconde	L/s	pied cube/minute	pi^3/min	2,1186
lumen/mètre carré	lm/m^2	lumen par pied carré	lm/pi^2	0,09290
lux, lumen/mètre carré	lx, lm/m^2	pied bougie	pi-b	0,09290
mètre	m	pied	pi	3,281
mètre	m	verge	yd	1,09361
partie par million	ppm	grain/gallon (imp.)	gr/gal (imp.)	0,07
partie par million	ppm	grain/gallon (U.S.)	gr/gal (U.S.)	0,05842
perméance (métrique)	PERM	perméance (imp.)	perm	0,01748
centimètre carré	cm^2	pouce carré	po^2	0,1550
mètre carré	m^2	pied carré	pi^2	10,764
mètre carré	m^2	verge carré	v^2	1,196
tonne (métrique)	t	livre	lb	2204,6
watt	W	Btu/heure	Btu/h	3,413
watt	W	lumen	lm	668,45

TABLES DE CONVERSION DES UNITÉS IMPÉRIALES EN UNITÉS MÉTRIQUES

DE	SYMBOLE	À	SYMBOLE	VALEUR NUMÉRIQUE
ampère/po^2	A/po^2	ampère/cm^2	A/cm^2	0,1550
atmosphère	atm	kilopascal	kPa	101,325
British Thermal Unit	Btu	joule	J	1054,8
Btu	Btu	kilogramme-mètre	kg-m	107,56
Btu	Btu	kilowatt-heure	kWh	$2,928 \times 10^{-4}$
Btu/heure	Btu/h	watt	W	0,2931
calorie, gramme	cal ou	g-cal joule	J	4,186
chaîne	chaîne	mètre	m	20,11684
pied cube	pi^3	mètre cube	m^3	0,02832
pied cube	pi^3	litre	L	28,32
pied cube/minute	pi^3/m	litre/seconde	L/s	0,47195
cycle/seconde	c/s	Hertz	Hz	1,00
degré Fahrenheit	°F	degré Celsius	°C	(°F − 32)/1,8
pied	pi	mètre	m	0,3048
pied bougie	pi-b	lux, lumen/mètre carré	lx, lm/m^2	10,764
pied lambert	pi-L*	candela/mètre carré	cd/m^2	3,42626
pied-livre	pi-lb	joule	J	1,356
pied-livre	pi-lb	kilogramme-mètre	kg-m	0,1383
pied livre/seconde	pi-lb/s	kilowatt	kW	$1,356 \times 10^{-3}$
gallon (imp.)	gal (imp.)	litre	L	4,546
gallon (U.S.)	gal (U.S.)	litre	L	3,785
grain/gallon (imp.)	gr/gal(imp.)	partie par million	ppm	14,286
grain/gallon (U.S.)	gr/gal(U.S.)	partie par million	ppm	17,118
cheval vapeur	cv	watt	W	745,7
cheval vapeur-heure	cv-h	joule	J	$2,684 \times 10^6$
pouce	po	centimètre	cm	2,540
pouce de mercure (32°F)	po de Hg	kilopascal	kPa	3,386
pouce d'eau (4°C)	po d'H_2O	kilopascal	kPa	0,2491

TABLES DE CONVERSION DES UNITÉS IMPÉRIALES EN UNITÉS MÉTRIQUES (CONT.)

DE	SYMBOLE	À	SYMBOLE	VALEUR NUMÉRIQUE
lambert	L*	candela/mètre carré	cd/m^2	3,183
lumen/pied carré	lm/pi^2	lumen/mètre carré	lm/m^2	10,76
lumen	lm	watt	W	0,001496
mille	mille	kilomètre	km	1,6093
once	oz	gramme	g	28,35
perm (0°C)	perm	kilogramme par pascal-seconde-mètre carré	$kg/(Pa\text{-}s\text{-}m^2)$ (PERM)	$5,721 \times 10^{-11}$
perm (23°C)	perm	kilogramme par pascal-seconde-mètre carré	$kg/(Pa\text{-}s\text{-}m^2)$ (PERM)	$5,745 \times 10^{-11}$
perm-pouce (0°C)	perm-po	kilogramme par pascal-seconde-mètre	kg/(Pa-s-m)	$1,4532 \times 10^{-12}$
perm-pouce (23°C)	perm-po	kilogramme par pascal-seconde-mètre	kg/(Pa-s-m)	$1,4593 \times 10^{-12}$
chopine (imp.)	chopine	litre	L	0,56826
livre	lb	gramme	g	453,5924
livre	lb	joule/mètre (Newton)	J/m N	4,448
livre	lb	kilogramme	kg	0,4536
livre	lb	tonne (métrique)	t	$4,536 \times 10^{-4}$
livre/pied cube	lb/pi^3	gramme/litre	g/L	16,02
livre/pouce carré	lb/po^2	kilopascal	kPa	6,89476
pinte	pinte	litre	L	1,1365
slug	slug	kilogramme	kg	14,5939
pied carré	pi^2	mètre carré	m^2	0,09290
pouce carré	po^2	centimètre carré	cm^2	6,452
verge carré	v^2	mètre carré	m^2	0,83613
tonne (longue)	ton	kilogramme	kg	1016
tonne (courte)	tn	kilogramme	kg	907,185
verge	v	mètre	m	0,9144

* "L" tel qu'utilisé dans l'éclairement.

Les valeurs typiques qui suivent peuvent servir de facteurs de conversion quand les données réelles manquent. Les équivalents en MJ et en BTU correspondent à la chaleur de combustion. Les chiffres applicables aux hydrocarbures correspondent à la valeur calorifique la plus élevée (poids humide). Certains produits sont de toute évidence des matières premières, mais ont été inclus au tableau pour le rendre plus complet et pour servir de référence. Les facteurs de conversion pour le charbon sont approximatifs puisque la valeur calorifique de ce produit varie selon la mine d'où il a été extrait.

TYPE D'ÉNERGIE	MÉTRIQUE	IMPÉRIAL
CHARBON		
— métallurgique	29 000 mégajoules/tonne	25,0 × 10^6 BTU/tonne
— anthracite	30 000 mégajoules/tonne	25,8 × 10^6 BTU/tonne
— bitumineux	32 100 mégajoules/tonne	27,6 × 10^6 BTU/tonne
— sous-bitumineux	22 100 mégajoules/tonne	19,0 × 10^6 BTU/tonne
— lignite	16 700 mégajoules/tonne	14,4 × 10^6 BTU/tonne
COKE		
— métallurgique	30 200 mégajoules/tonne	26,0 × 10^6 BTU/tonne
— pétrolier		
— brut	23 300 mégajoules/tonne	20,0 × 10^6 BTU/tonne
— calciné	32 600 mégajoules/tonne	28,0 × 10^6 BTU/tonne
POIX	37 200 mégajoules/tonne	32,0 × 10^6 BTU/tonne
PÉTROLE BRUT	38,5 mégajoules/litre	5,8 × 10^6 BTU/baril
MAZOUT N° 2	38,68 mégajoules/litre	5,88 × 10^6 BTU/baril 0,168 × 10^6 BTU/GI
PÉTROLE N° 4	40,1 mégajoules/litre	6,04 × 10^6 BTU/baril 0,173 × 10^6 BTU/GI
PÉTROLE N° 6 (MAZOUT LOURD C)		
— 2,5 % soufre	42,3 mégajoules/litre	6,38 × 10^6 BTU/baril 0,182 × 10^6 BTU/GI
— 1,0 % soufre	40,5 mégajoules/litre	6,11 × 10^6 BTU/baril 0,174 × 10^6 BTU/GI
— 0,5 % soufre	40,2 mégajoules/litre	6,05 × 10^6 BTU/baril 0,173 × 10^6 BTU/GI
KÉROSÈNE	37,68 mégajoules/litre	0,167 × 10^6 BTU/GI
DIESEL	38,68 mégajoules/litre	0,172 × 10^6 BTU/GI
GAZOLINE	36,2 mégajoules/litre	0,156 × 10^6 BTU/GI
GAZ NATUREL	37,2 mégajoules/m^3	1,00 × 10^6 BTU/M pi^3
PROPANE	50,3 mégajoules/kg 26,6 mégajoules/litre	0,02165 × 10^6 BTU/lb 0,1145 × 10^6 BTU/GI
ÉLECTRICITÉ	3,6 mégajoules/kWh	0,003413 × 10^6 BTU/kWh

Propriétés a considerer pour la selection du materiau isolant
Feuille de travail 1-1

Entreprise: _____ Date: _____

Endroit: _____ Par: _____

Isolant destiné à: _____

Propriété	Importante	Sans Importance
ASPECT (L'isolant est-il visible?)		
NEUTRALITÉ CHIMIQUE (L'isolant peut-il parfois devenir mouillé?)		
CHARGE DE RUPTURE (L'isolant sera-t-il sans appui par endroits?)		
CAPILLARITÉ (L'isolant est-il situé dans en endroit humide?)		
COEFFICIENT DE DILATATION ET CONTRACTION (S'agit-il d'un isolant de multicouche ou des joints de dilatation sont-il requis?)		
COMBUSTIBILITÉ (Le secteur comporte-t-il des risques d'incendie?)		
RÉSISTANCE À LA COMPRESSION (L'isolant a-t-il à supporter une charge ou est-il sujet aux dommages physiques?)		
MASSE VOLUMIQUE		
RÉTRACTION (L'isolant est-il posé dans un milieu à haute température?)		
RÉSISTANCE AUX RAYONS ULTRAVIOLETS (L'isolation est-il exposé aux rayons du soleil?)		
RÉSISTANCE À LA CROISSANCE DES MOISISSURES ET DES BACTÉRIES (L'isolant est-il installé dans un secteur de préparation des aliments ou des produits cosmétiques?)		

Perte de chaleur de tuyauterie

Feuille de travail 1-2

Entreprise: _____ Date: _____

Endroit: _____ Par: _____

Diam. de tuyau (NPS) _____ Longueur de tuyau _____ m

Température de service _____ °C Heures de service par an _____ h

Type d'isolant proposé _____ Épaisseur d'isolant proposé _____ mm

Sans isolant	Insolé
Perte de chaleur par mètre _____ Wh/m·h (table 1)	_____ Wh/m·h (table 3)
Perte de chaleur/h = Perte de chaleur/m·h x longueur	
_____ x _____	_____ x _____
_____ Wh/h	_____ Wh/h
Perte annuelle de chaleur = Perte de chaleur/h x h/an	
_____ x _____	_____ x _____
_____ Wh/an (1)	_____ Wh/an (2)

Réduction de perte de chaleur par suite de l'ajout d'isolant

= (1) − (2)

= _____ − _____

= _____ Wh/an

ou _____ Wh/an x 3.6 kJ/Wh

= _____ kJ/an

Calculer ensuite les économies en dollars à l'aide du coût unitaire d'énergie. Veiller à ce que les unités soient compatibles.

Perte de chaleur de tuyauterie

Feuille de travail 1-3

Entreprise: _____ Date: _____

Endroit: _____ _____ Par: _____

Appareil _____ Heures de service par an _____ h

Surface _____ m^2 Type d'isolant proposé _____

Température de service _____ °C Épaisseur d'isolant proposé _____ mm

Sans isolation	Isolé
Perte de chaleur = _____ Wh/m^2 (table 1)	_____ Wh/m^2 (table 3)
Perte de chaleur/h = Surface x Perte de chaleur	
_____ x _____	_____ x _____
_____ Wh/h	_____ Wh/h
Perte annuelle de chaleur = Perte de chaleur/h x h/an	
_____ x _____	_____ x _____
_____ Wh/an (1)	_____ Wh/an (2)

Réduction de perte de chaleur par suite de l'ajout d'isolant

= (1) − (2)

= _____ − _____

= _____ Wh/an

ou _____ Wh/an x 3.6 kJ/W

= _____ kJ/an

Calculer ensuite les économies en dollars à l'aide du coût unitaire d'énergie. Veiller à ce que les unités soient compatibles.

ANNEXE E

Épaisseur économique d'isolant

Les membres de l'industrie de l'isolation thermique invitent les entreprises et organismes à s'adresser à l'association locale ou à un représentant du secteur de l'isolation en vue d'une analyse de leurs projets d'investissements en calorifugeage.

Ce secteur industriel utilise principalement deux programmes d'ordinateur conçus pour l'analyse des investissements de cette nature. Le premier, intitulé «Economic Thickness of Industrial Insulation for Hot and Cold Surfaces» a été élaboré pour le compte du «Thermal Insulation Manufacturers' Association» (TIMA) par les professeurs B.F. Lackwell et D.E. McConnell du Louisiana Tech University. (TIMA: 7 Kirby Plaza, Mount Kisco, New York 10549, USA).

Le second programme, «Heatalyzer», est disponible par l'entremise du «National Insulation Contractors' Association» (NICA) et est conçu pour usage sur les ordinateurs IBM PC. (NICA: 1025 Vermont Avenue N.W., Suite 410, Washington, D.C. 20005).

Ces deux programmes utilisent la même logique et considèrent un certain nombre de facteurs, comme le type de combustible, le coût de combustible, les taux d'imposition, les taux d'inflation, et autres, afin de déterminer le rapport coût/rendement des investissements de calorifugeage.

ANNEXE F

Normes relatives aux caractéristiques de matériaux de calorifugeage

Les isolants et matériaux connexes sont fabriqués conformément à des normes établies de qualité et d'acceptabilité. Au Canada, les principaux organismes de prescriptions en matière de normes d'isolants sont les suivants

ONGC – L'Office des normes générales du Canada est l'un des cinq organismes autorisés par le Conseil de normalisation à produire des normes nationales pour le Canada. Les normes de l'ONGC englobent plusieurs domaines, notamment l'administration, le bâtiment, les produits de consommation et de construction. Les publications de l'ONGC sont disponibles directement sur demande.

ASTM – L'«American Society for Testing and Materials», fondée en 1898, est considérée comme la source la plus importante au monde en matière de normes volontaires. Leurs publications peuvent être obtenues en s'adressant à l'ASTM.

CAN – Les normes nationales du Canada sont élaborées par des organismes accrédités à cette fin, puis approuvées en tant que normes nationales par le Conseil de normalisation du Canada. Ces publications sont disponibles auprès du Conseil de normalisation.

Sous forme de tableau, on trouve ci-dessous les normes de l'ONGC et de l'ASTM régissant les matériaux de calorifugeage.

PRODUIT D'ISOLATION	ONGC	ASTM
Silicate de calcium		
Blocs et tuyaux	51-GP-2M	C-533-80
Panneaux		C-566-79
Verre cellulaire		
Blocs et tuyaux	51-GP-38M	C-522-79
Isolants élastomères flexibles préformés (Feuilles et tubes)	51-GP-40M	C-534-82
Fibre minérale		
Tuyaux	51-GP-9M	C-547-77
Couvertures et feutre	51-GP-11M	C-533-70
Blocs et panneaux	51-GP-10M	C-612-83
Revêtus de filet métallique		C-592-80
Isolant au phénol pour tuyaux et conduites	51-GP-29M	
Panneaux rigides préformés de polystyrène cellulaire	51-GP-20M	C-578-83
Tuyaux et blocs rigides préformés d'uréthanne cellulaire (sans garniture)	51-GP-21M	C-591-69
Panneaux isolants garnis d'uréthanne et d'isocyanate	CAN 2-51.26-M	
Isolant thermique absorbant pour acier inox austénitique	C-795-77	
Diamètres internes et externes des isolants thermiques rigides pour tuyaux et conduites de dimensions nominales	C-585-76	